Revue générale des Sciences
pures et appliquées
et Bulletin de la Société Philomathique

T. LVI — Nos 3-4 — 1949

Chronique et Correspondance

AUTOUR DE LA MICROPHYSIQUE

Discussions et Commentaires

SOMMAIRE. — Plus que jamais, la Mécanique ondulatoire est à l'ordre du jour. Malgré son accès difficile, elle suscite la curiosité, car elle appelle, en théorie de la connaissance, un élargissement de vues, sinon une refonte. La présente chronique réunit les analyses d'articles et ouvrages récents, parmi les plus abordables : textes à tendances diverses, prenant chacun un aspect du sujet, et ainsi, ne faisant pas double emploi. En voici la liste :

I. *L'idée de complémentarité,* par W. Pauli, N. Bohr, A. Einstein, L. de Broglie, W. Heisenberg, H. Reichenbach, J. L. Destouches, Paulette Destouches-Février, F. Gonseth (nos 7-8 de la *Revue internationale Dialectica,* Presses Universitaires, 115 pp. Prix :

II. *La statistique des cas purs en Mécanique ondulatoire,* par L. de Broglie (*Rev. Scient.,* 86e année, fasc. 5).

III. *La Mécanique ondulatoire,* par J. L. Destouches. (Vol. 311 de la Coll. *Que sais-je?* Presses Universitaires. Prix :

IV. *Eléments de Mécanique ondulatoire,* par W. Heitler, trad. de l'anglais par A. R. Weill. (In-8°, 14 × 22, de 136 pp., dans la *Bibl. scient. intern.,* Presses Universitaire. Prix : 400 francs.)

V. *La vie et la mort des étoiles,* par J. Gauzit. (Vol. 330 de la Coll. *Que sais-je?* Presses Universitaires, Prix :

L'opposition mutuelle de l'onde et du corpuscule, qui a conduit N. Bohr à dégager l'idée de complémentarité, voisinera ci-dessous avec les divergences d'auteurs attachés, les uns au côté philosophique, les autres au rendement concret des théories; ceux-ci voudront conserver et ceux-là refondre la logique usuelle.

Les problèmes stellaires lieront enfin l'évolution des astres aux secrets des corpuscules.

D'où pour nombre de lecteurs, l'accès à un programme où ils verront se rejoindre des branches, écartées au premier abord, de la spéculation scientifique.

Au début de son livre de 1937, *La Physique nouvelle et les quanta,* Louis de Broglie signalait que ces derniers, non seulement ont vivifié la physique atomique, mais encore « ont renouvelé nos horizons et introduit un certain nombre *de manières de penser* nouvelles dont il restera sans aucun doute de profondes traces dans les expansions futures de la pensée humaine ». Et il ajoutait qu'à ce titre, la physique des quanta mérite de retenir l'attention

de tous les hommes cultivés. Or elle y parvient pleinement, et d'autant mieux que s'élargit la connaissance des réactions nucléaires!

Mais, peut-on concevoir que des modes inusités apparaissent en matière de raisonnement sans donner lieu à quelque surprise? Il faut, pour en juger, regarder dans la direction de la Mécanique ondulatoire elle-même. Tout d'abord, c'est par tâtonnements qu'on a pu en dégager l'interprétation statistique (Born, Bohr, Heisenberg). Cependant, encore à ce stade, et malgré le concordat opératoire qui régularise l'application de cette doctrine à des problèmes nombreux, il ne semble pas que les auteurs s'entendent parfaitement au point de vue des principes.

C'est à la structure de la théorie, dans son ensemble, que voudrait s'en prendre Albert Einstein, en adressant à l'interprétation de la fonction d'onde cette double critique : ou bien, elle permet d'obtenir, et d'une manière complète, un comportement réel, alors cela semble impliquer une action à distance; ou bien, elle n'aboutit qu'à une description incomplète et ne saurait en ce cas conduire à des lois strictes quant à la dépendance temporelle. Bien que profitables au débat, ces remarques sous-entendent, pour un système physique, une pétition de l'existence d'un état réel objectif, indifférent à l'adjonction d'appareils de mesure. Ce que réfute W. Pauli. Car, d'après N. Bohr, l'individualité des processus quantiques oblige à retenir l'influence des dispositifs annexes sur le comportement des objets atomiques : chose liée à l'impossibilité de décrire complètement les phénomènes sans un recours alternatif à l'onde et au corpuscule, concepts dont un prédomine toujours au détriment de l'autre. On rencontre ici l'idée de départ; la *complémentarité de l'onde et du corpuscule*. Mais, comme le note Louis de Broglie, la mécanique ondulatoire relativiste des systèmes heurte à des obstacles qu'on ne saurait vaincre sans avoir conscience d'une autre complémentarité, celle du corpuscule individuel et du système. Un système formé de n corpuscules, soumis à des interactions, devient indécomposable en constituants ayant des masses propres définies. Se représenter soit tel constituant, soit le système à l'état global, conduit alors à deux idéalisations extrêmes, qu'on verra prévaloir alternativement, mais dont aucune ne donne une image fidèle de la réalité. Retenons-en la perte d'individualité de corpuscules de même nature.

Il faut maintenant signaler les spéculations hardies de P. Destouches-Février sur la structure logique des théories corpusculaires. En microphysique, l'impossibilité de certaines déterminations simultanées (exemple : celle de la position et de la vitesse d'un corpuscule) n'est pas seulement une question de fait, mais une question de principe. D'où un nouveau genre de complémentarité, et avec lui, des exigences à respecter, sous peine de contradictions. On classera dès lors les paires de propositions en *paires composables* et en *paires incomposables*, suivant qu'elles concernent des mesures pouvant ou non se faire simultanément. Les règles sur le produit logique, dans le schème ainsi obtenu, cesseront d'être universelles. Distinguant le *vrai* V, le *faux* F (applicables aux propositions, *a priori* admissibles, et que l'expérience confirme ou infirme) du *faux absolu* A (applicable aux énoncés qui, de droit, sont anti-expérimentaux), on aboutit à une nouvelle matrice du produit logique dans une logique dite *de complémentarité*. C'est, pour P. Destouches-Février, celle qui convient à la Mécanique ondulatoire; elle est apparentée à une logique construite aux mêmes fins par von Neumann et Birkhoff à partir de principes différents (sans recours à la complémentarité).

D'autre part, une physique rationalisée, expression fidèle de l'expérience, doit pouvoir se construire sans recours à la négation. D'où une attraction entre la logique de complémentarité précédente et la logique mise par Griss à la base d'une mathématique intuitioniste sans négation. P. Destouches-Février pense que ce système permet, sous des réserves qu'elle précise, d'exprimer la physique mathématique déjà construite.

Toutefois, W. Pauli et N. Bohr répugnent à l'idée de changer de logique, idée qui leur paraît d'ailleurs superflue, vu la bonne adaptation mathématique du modèle fourni par les vecteurs d'un espace hilbertien et leurs projections sur ses sous-espaces. Cependant cette idée séduit à son tour H. Reichenbach, dans les développements qu'il consacre au *principe d'anomalie*, interdisant l'attribution de valeurs définies aux grandeurs non observées, c'est-à-dire une interprétation exhaustive de la mécanique des quanta. Celle-ci ne sera pas une *théorie fermée*, à l'exemple de la Mécanique newtonienne, dans un sens que précise W. Heisenberg.

Les cinq prix Nobel de Physique ont ici rivalisé de concision. D'aucuns pourront le regretter. Mais ils seront dédommagés par l'exposé substantiel consacré, par J. L. Destouches, à sa théorie des prévisions. Il s'agit pour le physicien, muni de divers appareils de mesures, de prévoir, certaines étapes ayant été franchies, les résultats que donneront les mesures ultérieures. On codifiera les processus de

prévision en précisant la notion des éléments initiaux, en fixant l'opérateur d'évolution, etc. L'axiomatique générale répondant à ces besoins conduit alors à distinguer deux classes de théories physiques : celles où toutes grandeurs sont simultanément mesurables et celles où, par contre, certaines paires de grandeurs échappent, de droit, à ce caractère. Il existe dans les premières, à titre exclusif, une *grandeur d'état,* dont le nom se justifie du fait que toute autre grandeur en dérive. Dans les secondes, il y a indéterminisme essentiel et la théorie prend un caractère *subjectiviste,* par l'impossibilité d'éliminer les appareils qu'on doit mettre en interaction avec les systèmes observés.

Quelques pages de F. Gonseth présentent enfin l'idée de complémentarité comme liée au raccordement de deux horizons dont l'un joue le rôle d'horizon apparent et l'autre d'horizon profond cela, après avoir évoqué l'horizon naturel, l'horizon classique, l'horizon quantique). Si ce changement de perspective a quelque chose de fondé, il est peut-être un peu lâche et mieux vaut ne pas abuser de ces analogies vagues, même sous le prétexte d'intéresser des philosophes nombreux.

Ce coup d'œil sur les textes dont la réunion donne un vif intérêt au fascicule 7-8 de *Dialectica* permet d'apprécier un climat psychologique, lequel n'est pas exempt de nuages orageux! Et cela se corse, quand le démon de la pédagogie s'en mêle. Bon démon d'ailleurs, quand il pique J. L. Destouches et vient lui souffler de raccourcir, dans un fascicule *Que sais-je?* ce qu'il a minutieusement détaillé dans ses traités antérieurs, *axiomatico more.*

Mais tout en acceptant la cohérence de cette œuvre axiomatique, G. Petiau en éprouve de l'inquiétude! Ne pourrait-on proposer d'autres enchaînements de définitions, axiomes, théorèmes aussi cohérents, plus voisins des raisonnements utilisés dans l'étude, par la Mécanique quantique, des phénomènes microphysiques? Et s'enflammant à so ntour, G. Petiau redoute que le volume 311 ne vienne fausser les idées sur la nature des problèmes étudiés par la Mécanique ondulatoire ! (cf. p. 90).

Querelle anodine, dans le fond! D'une part, elle montre la passion avec laquelle les disciples de Louis de Broglie soutiennent leurs positions respectives; d'autre part, en un domaine qui confine seulement à la microphysique, et où se composent les efforts de description et d'organisation la ralliant aux autres connaissances humaines, elle souligne l'importance que détient encore la complémentarité!

Car c'est une véritable complémentarité qui s'exerce entre le 311 et l'ouvrage substantiel de Heitler, dont les Presses viennent de produire une excellente traduction (par A. R. Weill). Où ce livre insiste surtout, c'est sur l'interprétation des expériences qui ont permis à la Mécanique ondulatoire de s'édifier. Citons-en comme exemples la diffraction des électrons et l'effet Zeemann, c'est-à-dire la décomposition d'une raie spectrale en plusieurs autres, sous l'action d'un fort champ magnétique. L'appareil mathématique, accessible à un bon élève de mathématiques générales, s'attache aux applications les plus simples de l'équation de Schrödinger : entre autres les états de l'atome d'hydrogène détenant ou non la symétrie sphérique, et signification physique de ces types d'état; cela fournit l'occasion d'introduire le moment angulaire, puis le spin. Il traite aussi du problème de deux électrons, intéressant par exemple l'atome d'helium et formule le principe d'exclusion de Pauli (impossibilité de trois électrons au même niveau, un niveau commun pouvant convenir à deux électrons de spins opposés). Toutes les configurations électroniques des éléments apparaissent ainsi soumises aux lois de la Mécanique ondulatoire et la classification périodique y trouve son interprétation naturelle. Les derniers chapitres concernent la théorie des liaisons chimiques et la valence.

Heitler complémentarise donc Destouches. Avec leurs deux livres, l'étudiant ne laissera rien échapper d'essentiel dans les bases de sa formation, qu'il la désire très pratique ou très structurée.

Terminons dans l'esprit de sérénité auquel incite la contemplation du ciel étoilé. On ne s'écarte pas de la microphysique en portant ses regards vers *La vie et la mort des étoiles.*

L'énergie dissipée en quantité prodigieuse par le Soleil et beaucoup d'autres étoiles, pendant des périodes extrêmement longues, a depuis peu, trouvé son explication dans l'étude des noyaux atomiques. « Ce rapprochement surprenant des étoiles et des atomes, écrit l'auteur, mérite de retenir l'attention. L'Astronomie et la Physique se trouvent intimement liées et les progrès de l'une contribuent aux progrès de l'autre. » Après avoir invoqué l'énergie chimique, la chute des météores, et plus récemment la contraction pour essayer d'expliquer un très long maintien d'un état d'équilibre, on a dû se rendre compte d'abord que les phénomènes radioactifs, à eux seuls, ne pouvaient conduire à la solution de l'énigme; puis, apprécier le caractère massif des réactions nucléaires qui se réalisent dans les étoiles, à des températures extraordinaires, réactions qui par l'énergie qu'elles dégagent sont capables d'entretenir le feu des étoiles.

Pour le faire comprendre, il a été indiqué comment sont constitués les atomes, selon les conceptions actuelles, comment s'accomplissent les transmutations, soit spontanées, soit artificielles, des éléments.

Après ce préambule, sont abordées les questions d'astronomie : classification des étoiles, évaluation de leurs températures superficielles, dont on peut déduire, avec l'appui d'autres caractères directement observables, les températures et pressions internes. Cela permet de préciser les propriétés de la matière stellaire et les conditions dans lesquelles les réactions nucléaires s'y accomplissent.

J'ai cité ce livre le dernier. C'est par lui que maint lecteur devra commencer. Chacun pourra, suivant ses préférences osciller alors entre Heitler et Destouches, puis faire le tour des prix Nobel.

Pour s'assurer, en terminant, du bénéfice de cette enquête, dans son ensemble, un test excellent sera la lecture du récent article de Louis de Broglie, dans la *Revue scientifique*, où le fondateur de la Mécanique ondulatoire souligne nettement la différence entre les principes du calcul des probabilités, tels que les suggèrent nos jeux familiers, et les besoins de la Physique classique d'une part, et d'autre part, les principes des statistiques rencontrées dans la théorie des quanta.

Le rôle dévolu à un postulat d'objectivité dans le champ des probabilités classiques contraste nettement avec l'intervention du subjectif dans les statistiques quantiques. Et la sensibilité possible des règles de calcul à ces circonstances montre bien qu'ici, certains mots du langage philosophique sont vraiment à leur juste place et, mieux encore, valorisés !

G. Bouligand.

VIENT DE PARAITRE

DARMOIS Eugène. — Vibrations, Acoustique. S. E. D. E. S., Paris, 1948, 280 pages, 210 figures, VIII planches hors texte. 1.250 francs.

Comme le fait observer l'auteur au début de son ouvrage, l'acoustique a vu s'amplifier, ces dernières années, son domaine d'étude qui, longtemps limité aux phénomènes liés à la sensation du son, s'étend maintenant aux vibrations matérielles ultra-sonores, hypersonores et, plus généralement, à toutes les vibrations possibles des systèmes matériels. C'est à l'exposé de ce vaste ensemble de questions que s'est attaché avec succès M. E. Darmois dans le traité qu'il destine aujourd'hui aux étudiants et à tous ceux qu'intéresse la technique des vibrations.

La matière des deux premiers chapitres constitue un rappel des propriétés essentielles des vibrations sinusoïdales et de leur composition ; faisant suite à l'analyse harmonique, la notion d'intégrale de Fourier clôt cette rapide introduction.

L'étude de la production et de la propagation des ondes sonores fait l'objet du chapitre suivant : ondes planes, ondes non planes, ondes sphériques sont tour à tour étudiées ; vient ensuite la description des phénomènes liés à la réflexion des ondes précédant quelques pages sur le principe d'Huygiens et les phénomènes dispersifs ; l'acoustique appliquée s'introduit avec le problème de la propagation des ondes planes dans un pavillon.

Précédées d'un exposé de la théorie macroscopique de l'élasticité, l'étude des vibrations longitudinales des tiges solides et celle des vibrations transversales des cordes et des membranes constituent l'essentiel du quatrième chapitre.

La théorie des vibrations forcées et de la résonance, un exposé de la théorie atomique du corps solide selon les conceptions de MM. Born et Brillouin, suivi d'une étude poussée des analogies électriques et acoustiques qui conduit à la notion, si importante, d'impédance acoustique ; la définition des filtres électriques et acoustiques, les applications de ces ensembles de résonateurs couplés ; quelques notions sur la transformation de Laplace et son emploi pour l'étude des régimes transitoires ; la description enfin et l'étude du fonctionnement des appareils électromécaniques vibrants : haut-parleurs, microphones, vibrateurs à magnétostriction, fait l'objet des chapitres 5, 6 et 7.

Vient ensuite une étude générale des systèmes vibrants : oscillateurs à résistance négative ; travaux de M. Y. Rocard sur l'instabilité d'un système due à la confusion de deux fréquences ; réalisation d'oscillateurs à amplitude limitée : oscillation de relaxation.

Les chapitres 9, 10 et 11 sont plus particulièrement consacrés à l'étude du son proprement dit : intensité et fréquence du son ; leur mesure ; intervalles musicaux, gammes ; analyse des sons, timbre.

L'ouvrage se termine par un rapide exposé des propriétés des ultrasons et des méthodes d'enregistrement et de reproduction du son.

Telles sont les grandes lignes du traité de M. E. Darnois, dont il est difficile, en si peu de lignes, de faire ressortir toute la richesse. Cet ouvrage rendant compte des travaux les plus récents et signalant pour une étude complémentaire de questions délicates les publications des spécialistes français et étrangers, ne manquera pas de rendre de grands services non seulement aux étudiants mais aussi à tous ceux, nombreux à l'heure actuelle, qui étudient l'acoustique appliquée.

De belles planches agrémentent le texte qui est d'autre part complété par de nombreux exercices judicieusement choisis.

M. Parodi.

A. BOUTARIC (1885-1949)

Le 31 mars 1949 s'éteignait, à Dijon, l'un de nos rédacteurs les plus éminents, Augustin BOUTARIC, Professeur à la Faculté des Sciences et à l'Ecole de Médecine et de Pharmacie de Dijon, membre de l'Académie d'Agriculture, du Comité international de Météorologie, de l'Institut de Coïmbre, chevalier de la Légion d'honneur. Il était né à Béduer (Lot) le 12 août 1885. Agrégé de physique en 1908, il avait quitté l'enseignement secondaire en 1910 pour entrer dans l'enseignement supérieur. D'abord Assistant à la Faculté des Sciences de Montpellier où il prépara sa thèse de doctorat, il fut nommé en 1919 Chargé de cours à la Faculté des Sciences de Dijon et devint en 1929 titulaire de la chaire de Physique générale de cette Faculté.

Bien qu'atteint de cécité complète depuis plus de vingt ans, le Professeur BOUTARIC, grâce à un labeur acharné et méthodique mis au service d'une énergie tenace, avait réussi à maintenir intacte toute l'activité scientifique qu'exigeait un esprit avide de connaître, passionné pour la recherche, prompt à diffuser ce qu'il avait acquis.

Ses principales recherches ont été consacrées à l'étude des propriétés physico-chimiques présentées par les milieux colloïdaux organiques ou inorganiques (stabilité, viscosité, propriétés optiques, électriques, magnétiques, etc.). On lui doit également des études intéressantes sur les propriétés absorbantes de l'atmosphère terrestre, les propriétés des résines synthétiques, les phénomènes capillaires, les phénomènes d'adsorption, d'imbibition, de fluorescence, etc., divers traités didactiques, des ouvrages de vulgarisation, et de très nombreux articles de mise au point où se révèlent toujours la sûreté de l'érudition et la clarté d'esprit de leur auteur.

Nos lecteurs ont pu bien souvent apprécier les brillantes qualités de l'écrivain scientifique; avec nous, ils seront unanimes à regretter la mort prématurée du Professeur BOUTARIC en qui disparaît un des pionniers de la Physico-Chimie.

Résultats récents concernant la constitution des ions électrolytiques

par

Geneviève SUTRA

Docteur ès Sciences

L'hypothèse d'Arrhénius a marqué une étape importante dans l'étude des solutions électrolytiques : la mise en solution d'un sel s'accompagne d'une ionisation très avancée; Arrhénius ne l'a pas supposée totale, à cause de la diminution apparente de l'ionisation en solution concentrée. Depuis Bjerrum (1909) et surtout depuis Debye et Hückel (1923), on pense que l'ionisation des sels peut être totale, même en solution concentrée; la diminution de certaines propriétés (conductibilité équivalente, abaissement cryoscopique molaire, etc.) s'explique par l'intervention des charges des ions. Dans deux fascicules de la collection Hermann [1, 2], M. E. Darmois a rappelé les principes de la théorie de Debye et Hückel. Ces auteurs ont obtenu, en solution très étendue, des *lois limites* qui s'appliquent à la conductibilité, aux propriétés osmotiques, au coefficient d'activité, à la viscosité des solutions, etc. Le domaine de validité de ces lois limites est d'autant moins étendu que la valence des ions est plus grande. Quand on désire élargir ce domaine, il faut faire intervenir les dimensions des ions; la théorie introduit alors, pour un ion donné, la distance minimum d'approche de l'ion associé, soit pour l'ensemble des ions du sel une sorte de *rayon moyen*. Enfin, en solution nettement plus concentrée, Hückel a essayé de faire intervenir la variation de la constante diélectrique de la solution avec la concentration. Nulle part on n'a pris en considération l'idée d'une solvatation effective des ions. Il semble pourtant que cette solvatation est obligatoire, comme le montrent deux exemples empruntés à M. Darmois [1] :

a) HCl liquéfié pur ne conduit pas le courant, l'eau pure est aussi très peu conductrice; le mélange est très conducteur et sa vapeur ne contient pratiquement pas de HCl;

b) ClNa cristallisé est déjà dissocié entièrement en ions; la démolition du réseau cristallin s'obtient très facilement dans l'eau, avec une évolution de chaleur insignifiante, ce qui oblige à admettre que l'interaction des ions et de l'eau fournit à elle seule la très grande énergie nécessaire.

SOLVATATION DES IONS

Un grand nombre de méthodes ont déjà été proposées pour la mesure de la solvatation des ions. Elles ont été passées en revue dans une publication de E. Darmois [3]. On peut dire qu'elles donnent toutes des résultats différents; il est donc certain qu'elles ne mesurent pas la même chose.

Une méthode simple, qui utilise la conductibilité des solutions et leur densité, a été proposée par E. Darmois [4]; il a donné quelques applications de cette méthode [5]. Dans ma thèse de doctorat [6], j'ai revu, critiqué, utilisé les données actuelles de conductibilité et de densité pour les solutions à 25°, dans l'eau et divers solvants organiques. Nous donnons ci-après le principe de la méthode et quelques résultats.

La conductibilité d'un électrolyte se présente comme la somme de celles de ses ions; elle varie avec la concentration de la solution. Pour un électrolyte fort, la conductibilité équivalente dépend de la mobilité des ions; celle-ci diminue quand la concentration augmente; la théorie de Debye et Hückel attribue cette diminution aux actions électrostatiques interioniques. C'est seulement à la dilution infinie que la mobilité de l'ion est une propriété caractéristique. On est donc conduit à extrapoler les conductibilités; j'ai rappelé [6] suivant quels principes cette extrapolation doit être faite; elle donne finalement les conductibilités libites l_{∞}^{25} des différents ions à 25° C. On peut passer de l_{∞} à la dimension de l'ion en solution en admettant que le freinage hydrodynamique de l'ion obéit à la formule de Stokes, $F = 6\pi\eta rv$. La démonstration de cette formule [7] suppose les hypothèses suivantes : 1° l'ion est sphérique; 2° la vitesse est uniforme; 3° les équations du mouvement sont linéaires; le mouvement est lent et per-

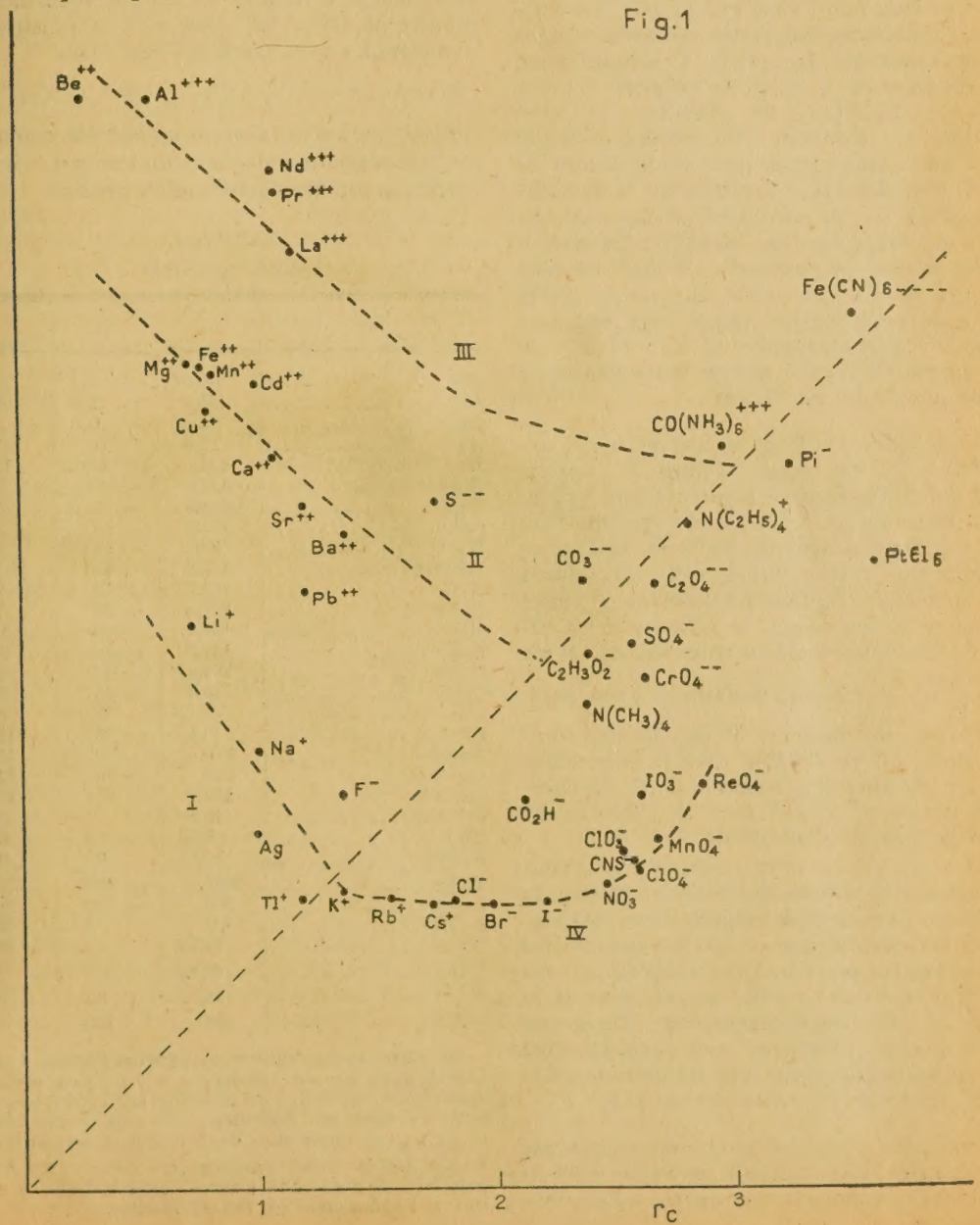
manent; 4° la symétrie du phénomène est axiale; 5° le liquide colle à la sphère; il n'y a pas de glissement au contact; 6° l'état initial est le repos (suppression des termes provenant de l'histoire antérieure du liquide). Il faut considérer que si une ou plusieurs de ces conditions ne sont pas remplies, la formule ne s'applique pas. La démonstration utilise de plus l'hydrodynamique des milieux continus; dans l'eau, par exemple, où les molécules sont séparées par des vides très importants, la sphère devra avoir un rayon assez grand pour que le liquide puisse être considéré comme continu. En égalant la force motrice à la résistance F, on trouve

(1) $$1_\infty \, r \, \eta = 0{,}819 \, z.$$

1_∞ en ohm cm; r, rayon en A; η, viscosité du solvant pur; z, valence de l'ion.

Les « rayons de Stokes » r_s ainsi calculés ont été comparés aux « rayons cristallins » r_c, déduits de diverses façons des études sur les cristaux. On peut dire en gros que, pour les ions monoatomiques, à symétrie sphérique, en *aucun cas il n'y a concordance entre les* r_c *et les* r_s. r_s est tantôt nettement plus grand, tan-

Fig.1



tôt plus petit que r_c. Pour les ions polyatomiques, la formule de Stokes a plus de chances de s'appliquer si l'ion est du type AB_6. Nous verrons plus loin que l'ion cobaltammine et l'ion ferrocyanure sont tels que $r_s = r_c$ et nous expliquerons pourquoi nous considérons ce résultat comme très important.

Les résultats de la comparaison sont particulièrement nets si on porte sur un diagramme r_c en abscisse et r_s en ordonnée; on obtient ainsi, pour l'eau, la figure 1. Sur cette figure a été tracée la « droite de Stokes » $r_s - r_c$; aucun point n'est exactement sur cette droite, probablement à cause des erreurs dans l'extrapolation de 1_∞ et de l'évaluation un peu arbitraire de r_c. Aux erreurs près, les ions $N(C_2H_5)_4^+$, $Co(NH_3)_7^{+++}$, $Fe(CN)_6^{----}$, Pi⁻ (picrate) s'y trouvent. Un certain nombre d'ions sont situés au-dessus de la droite de Stokes; nous les avons groupés sur trois courbes, I, II et III; ce sont surtout des cations; ce sera le groupe des *ions hydratés*. Un certain nombre d'ions monovalents, monoatomiques ou à symétrie élevée, sont au-dessous de la droite; ils se groupent assez bien sur une courbe IV; quelques-uns sont à l'intérieur de cette courbe. Ce sera le groupe *des ions qui ne suivent pas la loi de Stokes*.

Ions hydratés. — Pour expliquer les r_s supérieurs à r_c, on admet depuis R. Lorenz (1910) que les ions correspondants sont hydratés. La méthode proposée[4] a été appliquée au calcul de l'hydratation de ces ions. Elle exige une deuxième extrapolation, celle du *volume limite en solution*. Quand on mélange n_1 moles d'eau et n_2 moles de sel, la solution a un volume V; le volume molaire apparent du sel est $\varphi = \frac{V - n_1 v_1}{n_2}$; v_1, volume molaire de l'eau pure. V se déduira des mesures de densité des solutions; n_2/n_1 est en relation avec la concentration C; γ est ainsi une fonction de C; on cherche sa limite γ_c quand $C \to 0$. Cette limite obéit à la formule d'additivité

(2) $V = n_1 v^1 + n_2 \varphi_0$. On peut ainsi obtenir le volume limite pour différents sels; il est par exemple négatif pour SO_4Mg. On montre ensuite que φ_0 est la somme des volumes limites pour les deux ions du sel; un procédé qu'on verra en (6) permet d'avoir la liste des γ_0 pour les différents ions. Un grand nombre de ces γ_0 ioniques sont négatifs; c'est le cas en particulier pour tous les cations polyvalents; on les évaluera en A^3 par ion.

On sait que l'eau liquide a une structure très lacunaire; une molécule, de rayon 1,38 A, est entourée en moyenne de quatre autres molécules formant un ensemble tétraédrique. Le volume de la molécule est 11 A^3, alors que le volume v_1 est $18.10^{24}/6.10^{23} = 30$ A^3. Quand on introduit un ion dans l'eau, il se produit, à cause du caractère polaire de la molécule d'eau, une électrostriction importante allant jusqu'à l'annexion par l'eau d'un nombre n de molécules d'eau. C'est cet ensemble ion « sec » + nH_2O qui constitue probablement « l'ion de Stokes », de rayon r_s, de volume $4/3\ \pi r^3{}_s = v_s$. On écrira alors pour un ion la formule analogue à (2), en y faisant $n_2 = 1$; cela donne $V = n_1 v_1 + \varphi_0$ par définition et d'autre part $V = (n_1 - n)\ v_1 + v_s$ puisque les n molécules manquent à l'eau. D'où

$$n_1 v_1 + \varphi_0 = (n_1 - n) v_1 + v_s \quad \text{soit} \quad (3)\ n = \frac{v_s - \varphi_0}{v_1}$$

C'est par cette formule qu'ont été calculées les hydratations n des ions du tableau I; les φ entre parenthèses sont moins précis.

TABLEAU I

Ions hydratés

Ion	v_s	γ_0	n
H^+	0,07	— 5,7	0,18
Li^+	55,3	— 7,9	2,11
Na^+	25,6	— 6,3	1,06
Ag^+	13,5	— 18	1,05
Be^{++}	401,6	(— 12)	13,8
Mg^{++}	172,6	— 48	7,35
Ca^{++}	121,5	— 41,5	5,43
Sr^{++}	121,5	(— 51)	5,75
Ba^{++}	98,1	(— 55)	5,10
Fe^{++}	167,2	(— 50)	7,2
Ni^{++}	167,2	(— 50)	7,2
Co^{++}	167,2	— 45	7,1
Mn^{++}	167,2	— 36	6,8
Zn^{++}	167,2	— 40	6,9
Cd^{++}	162,8	(— 22)	6,16
Cu^{++}	146,2	— 45	6,3
Pb^{++}	74,75	(— 25)	3,3
Al^{+++}	40,13	— 75	15,9
Fe^{+++}	272,6	(— 80)	11,7
Cu^{+++}	286	— 90	12,5
La^{+++}	253,7	(— 60)	10,5
F^-	18,8	1	0,59
OH^-	6,56	5	0,05
$N(C_2H_5)_4^+$	90,78	90	0
Th^{++++}	5007	— 165	170
Sn^{++++}	205	— 60	8,8
S^{--}	101	8	3,6
CO_3^-	70,13	2	2,27
$C_2O_4^{--}$	66,89	54	0,56
SO_4^-	50,86	32	0,62
$Fe(CN)_6^{----}$	203	175	1

Les autres ions se classent en deux catégories : 1° ceux pour lesquels les deux volumes v_s et φ_0 sont probablement égaux, au degré de précision des expériences ; ce sont les ions non hydratés ; 2° ceux pour lesquels $v_s < \varphi_0$; il s'agit alors des ions qui ne suivent pas la loi de Stokes. Nous examinons ces deux sortes d'ions plus loin. Il nous reste, pour les ions hydratés à chercher si l'hydratation est fixe ou variable.

Dans le tableau I, les n sont généralement fractionnaires; il n'est pas impossible qu'un ion donné possède plusieurs degrés d'hydratation; la valeur de n calculée serait celle qui correspond au mélange des deux sortes d'ions. Si on suppose par exemple deux ions tels que $(Mg.6H_2O)^{++}$ et $(Mg.8H_2O)^{++}$, du n expérimental 7,35, on peut déduire la proportion des deux ions; on trouve 0,325 pour le premier type. M. Darmois [5] a montré que le r_s était d'accord avec l'idée d'un ion central du type cristallin, entouré de molécules d'eau de rayon 1,38 A. On trouve ainsi par exemple que, pour les deux ions Mg à 6 et 8 H_2O, la différence des rayons est 0,46 A.

Dans la formule (1), le produit $1\eta r$ doit rester constant quand la température varie. Le coefficient de température de la conductibilité des ions hydratés est supérieur, vers 20°, au nombre 0,0236, C. T. de la fluidité de l'eau; cela veut dire que le rayon r_s diminue quand T augmente, donc que la forme à $8H_2O$ disparaît au profit de la forme à $6H_2O$. On peut même calculer, en utilisant le C. T. expérimental, la variation de la proportion x avec T et la chaleur dégagée quand l'ion fixe les $2H_2O$ supplémentaires; elle est de l'ordre de 10 cal/kg.

Pour les ions tels que Be^{++}; Al^{+++}, Th^{++++}, on a trouvé des n assez élevés nécessitant la fixation de plusieurs couches de molécules d'eau autour de l'ion. Nous avons pu montrer que, pour l'ion Th^{++++}, ces couches peuvent être arrachées dans un écoulement assez rapide de la solution.

On a tellement écrit que la formule de Stokes n'avait aucune valeur pour le calcul de l'eau entraînée par les ions que nous devons un peu insister sur son utilisation dans le calcul précédent. Nous avons déjà fait remarquer que, dans la démonstration de la formule de Stokes, on suppose que l'eau colle à la sphère; cela veut dire que le domaine occupé par l'eau commence immédiatement à la surface de la sphère. Les gros ions à champ extérieur très faible ne doivent apporter dans l'eau qu'une perturbation très faible. C'est pourquoi la recherche des gros ions à symétrie sphérique ou quasisphérique est si importante. Nous donnons ici les résultats des mesures pour les deux ions $Co(NH_3)_6^{+++}$ et $Fe(CN)_6^{----}$.

L'ion cobaltammine a une conductibilité $1_\infty = 93{,}2$, d'où $r_s = 2{,}94$; $v_s = 106{,}2$. On ne possède pas de bonnes mesures de densité en solution, mais on a bien étudié certains sels de cobaltammines aux rayons X; on en déduit pour le volume de l'ion environ 125 A³.

L'ion ferrocyanure a une conductibilité 100,8, d'où $r_s = 3{,}65$; $v_s = 203{,}3$. Cette fois on a de bonnes mesures de densité de $Fe(CN)_6K_4$; elles sont un peu perturbées par l'hydrolyse de l'ion complexé en solution très étendue; on en déduit pour γ_0 la valeur 175 A³. Dans les deux cas, la différence des (v) est inférieure au volume d'une molécule d'eau. On peut dire que, d'après (3), l'hydratation est nulle. *Il n'y a pas d'eau fixée par les ions assez gros.* Corrélativement, le C. T. de leur conductibilité est égal au C. T. de la fluidité de l'eau puisque r_s est constant.

Il est probable que l'eau n'est fixée que si le champ de l'ion dépasse une certaine valeur. Si on se reporte à la figure 1, on voit que, du tracé des courbes I, II, III, il résulte que les ions monovalents de r_c inférieur à 1,35 A seraient hydratés; pour les ions bivalents, c'est vers 2,20 A que cesse l'hydratation; pour les ions trivalents, on est sûr que $Co(NH_3)_6^{+++}$ n'est plus hydraté. Si c'est le champ qui détermine la fixation du dipôle H_2O, on devra avoir

$$\frac{(r_1 + 1{,}4)^2}{1} = \frac{(r_2 + 1{,}4)^2}{2} = \frac{(r_3 + 1{,}4)^2}{3}$$

en supposant le dipôle vers le centre de la molécule.

Avec $r_{2e} = 2{,}2$ A, on calcule $r_1 = 1{,}15$ A et $r_s = 3{,}0$ A. D'accord avec les idées de Verwey [6], il y a une différence entre les ions + et −; systématiquement F^- est au-dessus de I^- et S^{--} au-dessus de la courbe II. Si on ne tient compte que des moyennes, le calcul simple ci-dessus est assez bien d'accord avec l'expérience.

Les ions qui ne suivent pas la loi de Stokes. En fait, seuls les gros ions suivent cette loi. Seulement, à condition de compter avec l'ion une pellicule d'eau fixée, l'ensemble suit la loi, comme nous l'avons supposé pour le calcul de l'hydratation. Il reste donc seulement à expliquer pourquoi les ions de la courbe IV et quelques ions aberrants ne suivent pas la loi.

Le comportement de ces ions a déjà beaucoup préoccupé les physicochimistes. Le frottement qu'ils éprouvent de la part de l'eau est inférieur au coefficient η qui figure dans la formule de Stokes. Pourquoi ? Ulich [9] pense que cela provient de la structure lacunaire de l'eau; l'ion est assez petit pour tomber de temps en temps dans un trou de cette structure. C'est la raison donnée par Cunningham plus de 20 ans avant [10], pour les ions gazeux ; Millikan [11] a développé cette idée à propos de la mesure de la charge de l'électron. Cette explication est correcte, mais insuffisante ; il faut faire intervenir à la fois la charge et le rayon

de l'ion, puisque la loi de Stokes s'applique à partir d'un certain rayon qui dépend de la valence de l'ion. On supposera donc la coexistence de deux effets : 1° l'effet Cunningham ; la condition de Stokes n'est pas remplie ; la résistance au mouvement diminue, r_s aussi ; 2° l'ion a un champ extérieur suffisant, non pour fixer l'eau, mais pour changer sa coordinence habituelle ; cet effet augmente la résistance, donc r_s. J'ai pu donner de ces deux effets une théorie semi-empirique, et montrer que tout se passe comme si r_s augmentait avec T pour ces ions ; j'ai pu calculer ainsi le C. T. de leur conductibilité, inférieur à 0,0236.

MESURES AUX TEMPERATURES ELEVEES

Noyes et ses collaborateurs ont mesuré dès 1910 [12] la conductibilité de divers acides, bases et sels en solution dans l'eau à des températures variables de 18° à 306° C.. A l'époque où ces mesures ont été faites, les auteurs ont cru devoir insister sur la valeur de la dissociation en ions de divers sels ; aujourd'hui, on peut admettre que, aux concentrations employées cette dissociation est totale ; leurs mesures sont alors extrêmement utiles pour prolonger les résultats que nous avons tirés des mesures à 18° et 25°. Un calcul, dans le détail duquel nous n'entrerons pas, montre qu'on peut, sans trop grande erreur, extrapoler le nombre de transport de Cl− de 100° à 306°, on aurait ainsi :

t	18	100	156	218	281	306
n	0,504	0,515	0,526	0,536	0,546	0,550

En multipliant ces chiffres par la conductibilité mesurée pour ClK, on obtient aux diverses températures les 1_∞ de Cl−, et par soustraction de proche en proche celles des autres ions. Le tableau II donne les 1_∞ ainsi obtenus.

TABLEAU II

Ion	t=18	100	156	218	281	306
Cl−	65,6	213	329	442	549	616
K+	64,5	201	296	383	456	504
Na+	43,4	149	226	318	421	464
H+	313,4	637	756	823	831	808
NO_3−	63,6	189	291	407	—	572
Ag+	52,2	178	279	373	—	493
OH−	173,1	445	609	742	—	—
SO_4−	68,3	254	419	682	1004	1231
Mg++	45,8	172	271	398	—	—
Ba++	53,3	196	309	433	—	728

La valeur de (1) pour SO_4^{--} est la même, qu'on l'obtienne à partir de SO_4H_2 ou de SO_4K_2 ; la valeur pour Ba^{++} a été calculée à partir de $(NO_3)_2Ba$. La conductibilité augmente pour tous les ions avec T, sauf pour H^+ où elle passe par un maximum vers 280°.

Pour calculer les rayons de Stokes, nous avons utilisé la formule (1) en utilisant pour η les valeurs ci-dessous [13] :

t	18	100	156
η	0,1056	0,00282	0,00178
t	218	281	306
η	0,00129	0,000975	0,00088

La variation de r_s avec T est représentée sur la figure 2. Sur cette figure on voit que les r_s des ions hydratés Mg, Ba, SO_4, d'abord peu variables, diminuent beaucoup aux températures élevées ; la déshydratation déjà prévue à 25° devient très nette à haute température. Les autres ions ne suivent pas la loi de Stokes ; on peut montrer que leur r_s doit augmenter avec T, si les deux effets postulés plus haut coexistent [1]. Pour les ions autres que H^+ et OH^-, on peut dire que les mesures à température élevée confirment convenablement les explications que nous avons données précédemment de la constitution des ions et de leurs propriétés.

L'ION HYDROGENE

La grande mobilité de l'ion H^+ lui assigne une place à part. A 25° C, 1_∞ = 349,7, alors que K^+ donne seulement 73,5. La plupart des auteurs considèrent cette grande mobilité comme anormale, aussi lui a-t-on cherché des explications anormales. Depuis longtemps, on admet implicitement que les deux ions de l'eau ont un comportement spécial parce qu'ils n'ont pas une constitution fixe. L'ion H^+ devrait se réduire au noyau de l'atome H^+, c'est-à-dire au proton. Pour des raisons assez mal expliquées, on suppose que le proton « nu » n'existe pas dans l'eau, mais qu'il s'associe à une molécule d'eau. L'ion $(H_3O)^+$ ainsi formé doit avoir un « rayon » voisin de celui de l'eau, c'est-à-dire de celui d'un ion K^+, ce qui est loin d'être le cas. On a ressuscité pour l'ion H^+ la vieille explication de Grotthus. L'ion $(H_3O)^+$ entraîné par le champ heurte une molécule d'eau et lui cède un proton. Le proton effectue ainsi un « saut » brusque, on gagne donc un parcours qui, dans certaines conditions favorables, est le diamètre d'une molécule, d'où la grande mobilité apparente. E. Hückel [14] a développé quantitativement l'hypothèse des « sauts » de protons ; il imagine que la charge de l'ion est excentrée, le

(1) L'écroulement de la structure de l'eau à haute température donne déjà l'explication qualitative de la croissance de r_s.

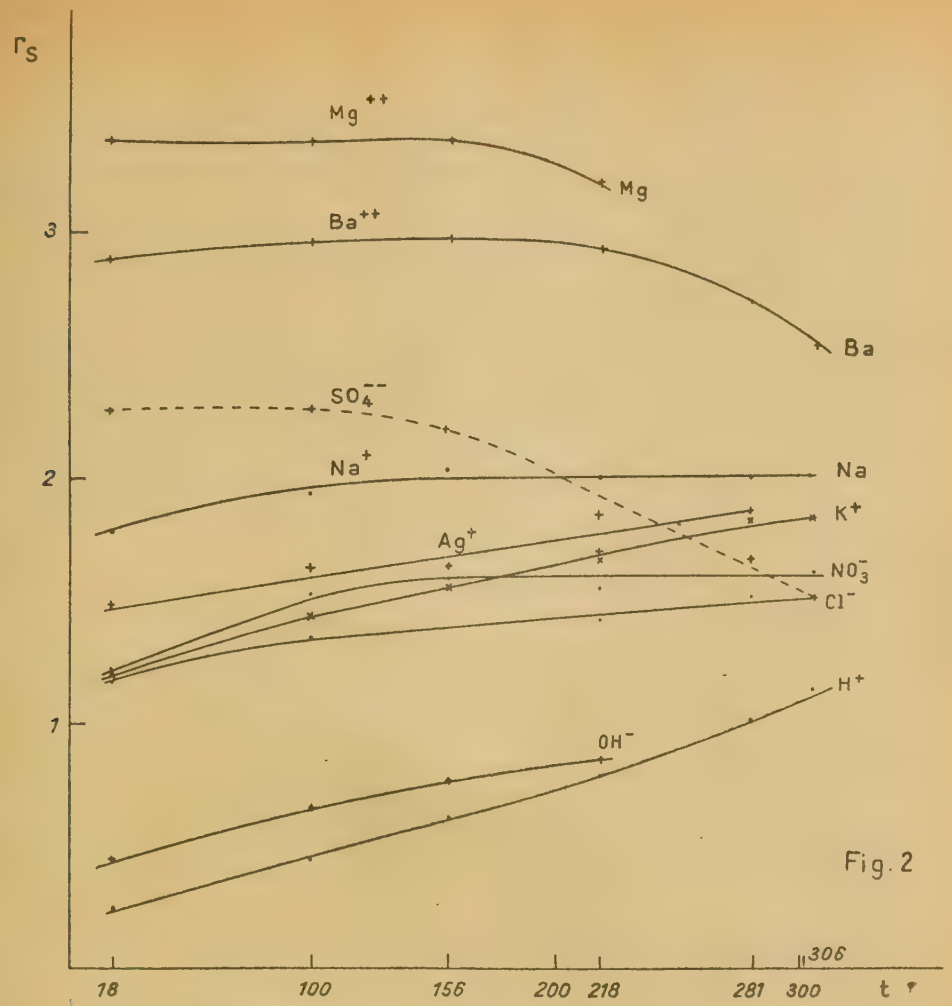


Fig. 2

pivotement de l'ion dans le champ crée un courant de protons plus grand dans le sens du champ que dans le sens inverse, ce qui favorise les « sauts » dans le sens du champ. La théorie introduit des temps de relaxation et de vie moyenne qu'on ajuste en tenant compte des faits.

Bernal et Fowler [15], dans un mémoire très important où ils ont donné un modèle de la molécule d'eau, s'occupent de l'ion H^+ et des sauts de protons. Ils appliquent les raisonnements et les procédés de calcul de la mécanique ondulatoire et trouvent finalement une expression de la mobilité de l'ion H^+. La formule renferme le champ (intérieur), le nombre N de sauts par seconde, la progression Δ à chaque saut ; les solutions de l'équation de Schrödinger pour les deux lieux du proton figurant dans les intégrales d'interaction, etc... Après des calculs et des raisonnements assez approximatifs, on montre que les (N), (Δ), etc... ont des valeurs compatibles avec le (1) observé. La théorie de Bernal et Fowler s'applique aussi à l'ion D^+ ; les auteurs prédisent que l'extra mobilité de D^+ doit être 20 fois plus petite que celle de H^+, donc que D^+ doit avoir une mobilité normale. Or ce résultat a été démenti par les faits, comme on le verra plus loin.

Le problème de l'ion H^+ a été traité ensuite par Wulff [16] qui a montré d'abord que l'explication de Hückel est en contradiction avec les faits pour les solutions de HCl dans un mélange dioxane-eau, aux deux points de vue de la conductibilité et de la diffusion. Ayant examiné les solutions dans l'alcool très déshydraté, il propose une explication qualitative du comportement de H^+ et OH^- dans l'eau, fondée sur l'existence d'agrégats liés par des liaisons hydrogène.

Si la conductibilité de H^+ est anormale, le C. T. de sa conductibilité l'est aussi (0,0157 à

18°). Ce C. T. le range dans nos ions « anti-stokes » c'est-à-dire de diamètre assez petit pour lui permettre de profiter de la structure lacunaire de l'eau. Si l'ion H^+ est un mélange de protons et d'ions $(H_3O)^+$, le raisonnement fait plus haut indiquerait un C. T. $>$ 0,0236. C'est une raison de plus pour rejeter l'hypothèse de Grotthus. Il semble que l'ion H^+ n'est pas une moyenne entre le proton et l'ion $(H_3O)^+$. Nous avons déjà dit plus haut qu'un ion $(H_3O)^+$ de constitution fixe est en contradiction avec la mobilité. Si on fait intervenir le $(\gamma_0) = -6{,}5\ A_3$, en admettant $n = 1$, notre formule (3μ) donne :

$$v_{eff} = 30 - 6{,}5 = 25{,}5\ A^3$$

Ce volume est de l'ordre de celui d'une molécule d'eau et le rayon correspondant est de l'ordre de celui de K^+, nouvelle raison pour rejeter $(H_3O)^+$.

Il nous a semblé alors que toutes les théories précédentes (Hückel, Bernal et Fowler, Wulff) nient un peu arbitrairement l'existence d'un proton « sec ». Nous croyons au contraire que l'ion H^+ n'est autre que le proton [17]. Les mobilités de H^+ et D^+ ont été déterminées en effet par La Mer et Mason [18] sur des solutions de HCl et DCl dans H_2O et D_2O. On trouve, à 25°, pour H^+ dans H_2O : 339,8

D^+ dans D_2O : 242,5

Le rapport des deux nombres est 1,40. C'est presque exactement $\sqrt{2} = 1{,}41$. Aucune des théories précédentes n'explique un résultat aussi simple. On arrive au contraire à l'explication en appliquant au proton une théorie calquée sur celle de Drude-Lorentz pour la conductibilité électronique des métaux. Dans l'intervalle de deux chocs avec la molécule d'eau, le proton parcourt un chemin moyen λ avec la vitesse d'agitation v ; le temps de parcours est $\varepsilon = \lambda/v$. Dans ce temps ε, le proton de charge e et de masse m, placé dans le champ h est soumis à l'accélération $\gamma = he/m$. Sa vitesse d'entraînement u est $\frac{he}{m}\varepsilon$ au bout du temps ε et $\frac{1}{2}\frac{he}{m}\varepsilon = \frac{1}{2}\frac{he}{m}\frac{\lambda}{v}$ en moyenne. La mobilité est :

$$U = \frac{u}{h} \equiv \frac{1}{2}\frac{e}{m}\frac{\lambda}{v} \qquad (4)$$

Nous admettons que la vitesse d'agitation v est, comme pour les gaz, donnée par une formule du type : $1/2\ mv^2 = \alpha T$;

$$\text{on a donc } U = \frac{e\lambda}{\sqrt{8 m \alpha T}} \qquad (5)$$

Quand on passe de H_2O à D_2O, on sait que la structure est presqu'exactement la même, avec le même rayon moléculaire; le deuton est aussi une particule sans dimension, comme le proton, λ est sensiblement le même, on doit donc avoir : $\frac{U_H}{U_D} = \sqrt{\frac{m_0}{m_H}} = \sqrt{2}$

c'est le résultat expérimental ci-dessus.

On peut aller plus loin si on admet pour α la valeur des « gaz parfaits »

$$3/2\ k = 2{,}07.10^{-16},\ U = 350$$

dans un champ de 1 volt par cm, c'est-à-dire 350.300 dans un champ d'une unité E. S.

$$U = 350.300/96500 = 1{,}09\ \text{cm/s} \qquad (5)$$

donne alors $\lambda = 0{,}2.10^{-8}$ cm. C'est à peu près le 1/10 du diamètre d'une molécule d'eau.

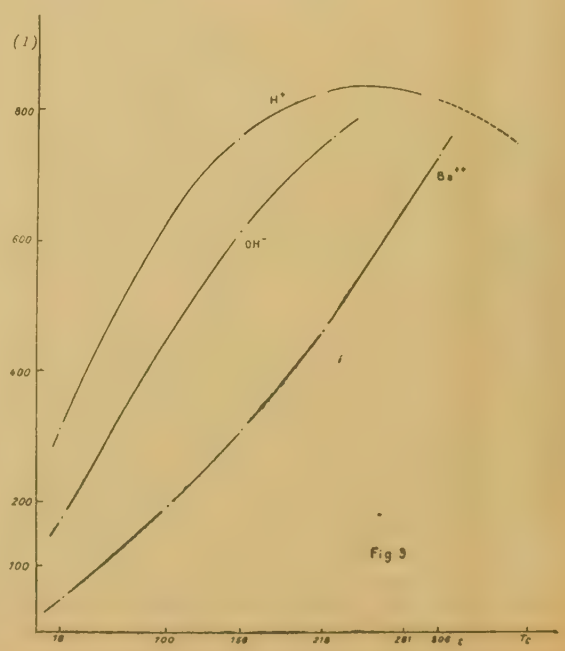
Les valeurs de la mobilité de H^+ aux températures élevées permettent de calculer à l'aide de la formule (6,3) les valeurs de λ aux diverses températures, on obtient ainsi les valeurs du tableau III.

TABLEAU III

t	25	100	156	218	281	306
λ	2.10^{-9}	4,62	5,87	6,85	7,35	$7{,}30.10^{-9}$

On a arrondi à 2.10^{-9} la valeur à 25°.

On voit que λ augmente avec T et qu'il semble tendre vers une limite voisine de 7.10^{-9} cm. S'il en est ainsi, la formule (5) permet d'extrapoler un peu la conductibilité de l'ion H^+; c'est ainsi qu'à été tracée la partie pointillée dans la figure 3, qui va jusqu'à la température critique.



L'ION H^+ DANS CH_4O

On a $1\frac{25}{\infty} = 143$ et pour l'ion K, 53,7 seulement. La conductibilité de H^+ est encore trop élevée. Il s'agirait encore du proton et notre théorie donnée pour l'eau s'appliquerait également ici. Dans la formule (5), λ est proportionnel à U ; il serait donc à peu près $0{,}9.10^{-9}$ cm, valeur nettement inférieure à celle pour l'eau, d'accord avec la structure moins lacunaire de CH_4O.

Peut-on prévoir à l'aide de la théorie cinétique les valeurs de λ ? D'après la façon dont nous avons obtenu les valeurs de la conductibilité, il s'agit de solutions infiniment étendues. Si les molécules et les protons obéissent à la loi de répartition des vitesses de Maxwell sous la forme :

$$dn = n\left(\frac{h\,m}{\pi}\right)^{3/2} e^{-h\,m(\xi^2+\eta^2+\zeta^2)}\,d\xi\,d\eta\,d\zeta$$

on aurait

$$\lambda = \frac{1}{n\,\pi\,\delta^2}\left(1+\frac{h\,m}{H_M}\right)-1{,}2 \qquad (6)$$

où H et h sont les valeurs de la constante pour les molécules d'eau et les protons, n est le nombre de molécules par cm^3 ; δ est la somme des rayons du proton et de la molécule. Si on suppose $h = H = 1/2$ kT, comme m/m = 1/18, on a sensiblement $\lambda = \frac{1}{n\,\pi\,\delta^2}$ où est le rayon de la molécule d'eau. On a donc :

$\delta = 1{,}4.10^{-8}$ et $\delta^2 = 1{,}96.10^{-16}$. A 25°,

$$n = 6.10^{-23}/18$$

on trouve ainsi $\lambda = 50.10^{-9}$, soit 25 fois la valeur déduite de la conductibilité dans l'hypothèse où l'énergie moyenne du proton est égale à celle d'une molécule gazeuse la statistique classique s'appliquant à la fois au proton et à la molécule d'eau. Ce désaccord considérable oblige à changer un peu la présentation des résultats ci-dessus. On sait que la théorie de Drude-Lorentz n'a pas donné des résultats définitifs pour les métaux ; l'électron libre peut être considéré dans ceux-ci comme ayant une énergie sensiblement indépendante de T et beaucoup plus grande que celle d'une molécule gazeuse (plus de 100 fois à la température ordinaire). Supposons que l'énergie du proton soit aussi moins sensible à T, on pourra écrire : $1/2\ mv^2 = \varepsilon$ (7)

$$\text{d'où } U = \frac{e\,\lambda}{\sqrt{8\,m\,\varepsilon}} \qquad (8)$$

Avec e, λ et ε constants, on retrouve de nouveau $\frac{U_H}{U_D} = \sqrt{2}$

La variation de U avec T doit être attribuée alors à la variation de λ. On aurait : $\frac{1}{U}\frac{du}{dT} = \frac{1}{\lambda}\frac{d\lambda}{dT}$, soit 0,0157 à 18°. Cette variation diminue quand T augmente, jusqu'à s'annuler vers 280°, après quoi elle changerait de signe (elle est peut être en relation avec le changement de structure de l'eau qui devient « close-packed » vers 300°).

La formule (6) doit aussi probablement être changée, si on admet que la molécule d'eau suit à peu près la statistique des gaz, H est voisin de 1/2 kT, mais h serait nettement plus grand, ce qui a pour effet de diminuer le λ calculé par (6). Le (λ) calculé par (5) a été relevé dans le rapport de $\sqrt{\varepsilon}$ à $\sqrt{3/2\ \text{kT}}$; on voit que le désaccord doit ainsi diminuer.

L'existence du proton libre en solution oblige à revoir un certain nombre d'explications de phénomènes intéressant l'ion H^+, par exemple la *surtension* d'hydrogène dans l'électrolyse, le passage de l'hydrogène à travers les cathodes, etc... Ces questions seront traitées ailleurs.

L'ION OH^-

Si on adopte les vues précédentes pour l'ion H^+, il est difficile de garder pour l'ion $0H^-$ une théorie genre Grotthus. J'ai proposé (27), une théorie d'après laquelle cet ion serait dissocié partiellement en électrons ; elle rend compte en particulier des propriétés réductrices de certaines solutions basiques

LES IONS DANS LES SOLVANTS NON AQUEUX

On a déterminé des conductibilités dans plus d'une centaine de solvants. Pour appliquer les principes énoncés ci-dessus, nous donnons seulement les résultats concernant l'*alcool méthylique*.

Les mobilités ont été rassemblées pour la température de 25° [7]; on a calculé les r_s et construit le diagramme r_s — r_c; il est représenté figure 4. Les ions monovalents + et — se placent assez bien sur deux courbes nettement séparées, la courbe — au-dessus de l'autre; la plupart des ions sont du côté solvaté de la droite de Stokes. Les cations divalents sont très groupés avec un r_s voisin de 5 A. Quelques ions font exception (ClO^-_4, IO^-_3). Mlle M. Cordier [19] a déterminé, selon la formule (3) les solvatations de divers ions :

Ion	Li^+	NH^+_4	Na^+	K^+	Rb^+	Cs^+	Cl^-	Br^-	I^-
n	4,7	3,7	3,2	2,4	2,0	1,5	0,7	0,3	0

On voit que les solvatations sont nettement plus importantes que dans l'eau; cela tient certainement à la plus faible constante dié-

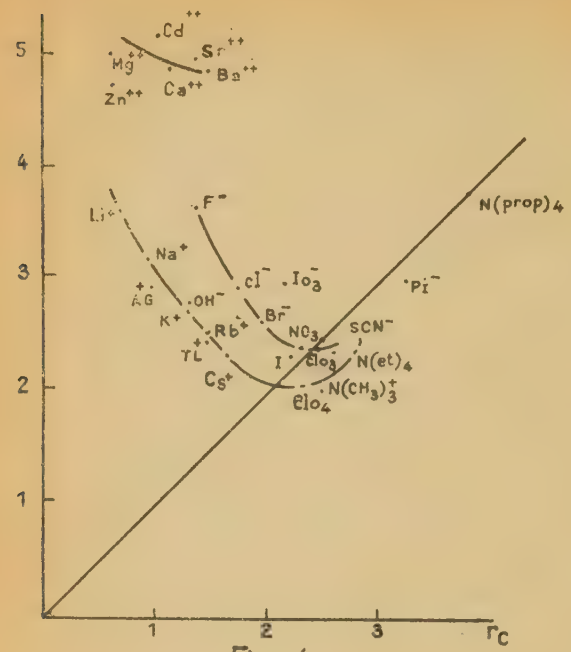


Fig. 4

lectrique de l'alcool. Nous avons dit ci-dessus que la dimension des ions hydratés en solution aqueuse s'explique à l'aide des dimensions des ions cristallins et de la molécule d'eau. Pour rendre compte de l'architecture des ions dans CH_4O, il faut faire intervenir les dimensions de la molécule d'alcool. C'est pour cela que j'ai utilisé la notion de « rayon d'action » telle qu'elle a été employée par Magat [20]. Les noyaux des atomes occupent le centre de cette sphère, ils sont situés à des distances mutuelles connues par l'étude des molécules aux rayons X ou par des données spectroscopiques. Pour CH_4O, on utilisera le rayon de CH_3 qui est 2,0 A. Les distances sont O — O = 1,45 A; O — H = 1,0 A; l'angle des deux valences de O est 110°. Cela conduit au modèle de la figure 5. Le moment polaire de CH_4O est certainement situé dans le groupe OH avec son bout négatif en O et son bout positif en H. Deux ions tels que ion + et ion — (positif, négatif) se logeront dans les positions pointillées. La distance du centre de l'ion à l'enveloppe extérieure de la molécule est dans les deux cas respectivement r_c + 4,04 A et r_c + 4,5 A, pour un même r_c le (r_s) sera nettement plus grand pour les ions négatifs, ce qui semble bien être le cas de la figure 5. Il est d'ailleurs probable que le moment de OH est plus voisin de la perpendiculaire à CO, cela remonterait un peu l'ion — et diminerait la différence des deux (r_s). Si on se reporte aux valeurs des (r_s) de la figure 4, on voit toutefois que, pour les ions monovalents, (r_s)

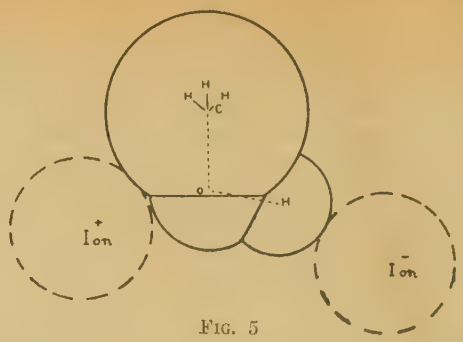


Fig. 5

est nettement plus petit que 5 A; cela semble démontrer que ces ions ne sont pas réellement solvatés, mais pseudo-solvatés comme Li^+ et Na^+ dans l'eau. Au contraire les (r_s) des cations divalents sont nettement de l'ordre de 5 A, et d'accord avec le modèle employé, ces ions seraient de véritables solvates.

VISCOSITE DES SOLUTIONS SALINES

La littérature concernant la viscosité des solutions aqueuses d'électrolytes est considérable; les premières expériences remontent à Poiseuille lui-même (1847). Arrhénius (1887) a fait également des mesures et proposé une formule reliant la viscosité à la concentration; cette formule est du type $\eta = \eta_0 A^c$; η viscosité de la solution de concentration η_0, viscosité du solvant. Grüneisen (1905) a montré que η n'est pas proportionnelle à c aux faibles concentrations; les formules qu'il a proposées renferment le degré de dissociation, qu'on s'accorde actuellement à poser égal à l'unité aux faibles concentrations. Einstein, en 1906 [21], a calculé la viscosité d'une solution de molécules *non chargées* assez grosses vis-à-vis des molécules du solvant pour qu'on puisse appliquer à celui-ci l'hydrodynamique des milieux continus. La formule finale obtenue, corrigée en 1911, donne le premier terme d'un développement introduisant les puissances de la concentration. Elle s'écrit :

$$\eta = \eta_0 (1 + 2{,}5\,\varphi) \qquad (10)$$

φ désigne le rapport du volume total des molécules dissoutes (ou dispersées) au volume du solvant; les molécules dissoutes sont supposées sphériques. Pour un sel dissous, à cause de l'ionisation, les particules sont chargées; la théorie d'Einstein nécessite donc une correction que Finkelstein [22] a entreprise; elle revient à augmenter φ dans certaines proportions. Or φ est proportionnel à la concentration; la théorie ne peut donc pas rendre compte à elle seule de la viscosité des solutions étendues. Par exemple, d'après Jones et Dole [23], on aurait pour Cl_2Ba à 25° :

$$\eta = \eta_0 (1 + A\sqrt{c} + Bc + \ldots) \qquad (11)$$

Falkenhagen et ses collaborateurs [24] ont proposé, pour expliquer le terme en $\sqrt{c}$, une théorie électrostatique qui admet les principes de la théorie de Debye et Huckel; le terme en $\sqrt{c}$ apparaît comme une conséquence de la modification du « nuage ionique » par l'écoulement dans un tube capillaire. La théorie permet le calcul de A, en fonction des conductibilités équivalentes et des valences des ions. Un grand nombre de mesures de viscosité ont été faites depuis l'apparition de la théorie et il semble que, dans la limite des erreurs, le terme A théorique coïncide bien avec le A expérimental pour les solutions très étendues.

Dès que la concentration dépasse quelques millièmes de moles par litre, le développement doit contenir, comme en (1), un terme en c et des termes en $c^{3/2}$, c^2, etc. Wolfenden et Laurence [25] ont proposé en 1934 d'expliquer le terme B c par la théorie d'Einstein mais d'une façon qualitative. M. Darmois [5] a pu montrer que l'ordre de grandeur de B est donné par cette théorie. Si c est la concentration en moles par litre et si v est le volume total des ions donnés par une molécule, on a

$$\varphi = \frac{6.10^{23}\, cv}{10^3}$$

Il est préférable d'exprimer, comme plus haut, le volume en A^3, ce qui donne avec

$$\varphi = 6.10^{-4}\, cv \quad 2{,}5\ \varphi = 15.10^{-4}\, cv$$

Si l'effet Einstein est seul responsable de l'augmentation de η, on doit avoir $B = 0{,}0015\ v$. Quel est le volume à employer pour v? Comme Einstein s'est servi de l'hydrodynamique de Stokes, il est naturel de penser que v est celui donné par l'application de la loi de Stokes. Celle-ci s'appliquant aux gros ions et aux ions hydratés, on peut essayer un composé tel que le ferrocyanure de calcium. Les expériences donnent $B = 0{,}50$. Les conductibilités limites des deux ions sont respectivement 100,8 et 59,5, ce qui donne 200 et 120 A^3 pour les volumes de Stokes des deux ions, soit 440 A^3 pour $Fe(CN)_6^{---}$ et les deux ions Ca^{++} le produit 0,0015 v est 0,66; la concordance des produit 0,0015 v est $0{,}66$; la concordance des deux nombres soulignés est très approchée; l'effet Einstein donne une explication de l'essentiel du terme B. L'« effet Falkenhagen » doit évidemment se développer aussi suivant les puissances de $\sqrt{c}$; jusqu'ici le calcul n'a pu être fait, même dans les cas les plus simples, pour une puissance supérieure à la première.

J'ai cherché [6] l'expression du terme en C^2 de la formule d'Einstein et j'ai trouvé $-3{,}5\ \varphi^2$, soit $-126.10^{-8}\ v^2$. J'ai également montré l'influence d'une dissociation incomplète de l'électrolyte. Si on admet en première approximation que la formule de dilution d'Ostwald s'applique, avec la constante K, on trouve, pour un sel du type AM ($ClNa$, SO_4Cu, etc.) un terme $-\frac{A}{2K}c^{3/2}$ et pour un sel du type AM_2 (Cl_2Ba, SO_4Na_2) un terme $-\frac{A}{2K}c^{5/2}$. J'ai effectué en conséquence une revue complète de la littérature antérieure, complétée par quelques mesures nouvelles, pour voir jusqu'à quel point les nouveaux termes calculés expliquent les résultats expérimentaux. Pour cette comparaison, il est commode de construire, en fonction de $\sqrt{c}$, la courbe de

$$\psi = \frac{\eta - \eta_0}{\sqrt{c}} = A + B\sqrt{c} + \ldots$$

Pour ce qui concerne le terme A, il est en général d'accord entre le A théorique de Falkenhagen et le A expérimental; dans certains cas cependant la conductibilité limite de l'un des ions du sel est mal connue et on peut la calculer connaissant le A expérimental; un tel cas s'est présenté notamment pour le sulfate chromique où on a pu rectifier le 1_∞ de l'ion Cr^{+++}. Pour le terme en c, l'accord est assez bon avec l'effet Einstein, corrigé au besoin selon Finkelstein, pour $ClLi$, Cl_3La, $Fe(CN)_6Ca_2$, $[Fe(CN)_6]Ca_3$. Les courbes pour $ClLi$, SO_4Cu, SO_4Zn indiquent l'existence d'un terme négatif en $C^{3/2}$; pour les deux sulfates, on aurait affaire à une dissociation incomplète avec des (K) égaux respectivement à 0,057 et 0,092, ce qui donne des degrés de dissociation assez nettement différents de l'unité pour $c = 1/1.000$. Pour SO_4Mn et surtout pour SO_4Cd, la dissociation incomplète se fait sentir nettement pour les concentrations inférieures à 1/1.000; puis les ions s'associent pour donner des ions complexes. La discussion des courbes permet de donner quelques précisions sur ces ions complexes qui seraient peut-être du type $[SO_4]Cd_2^{++++}$. Il semble que la mesure de la viscosité pourra renseigner sur la formation de tels ions.

Pour SO_4Mg, on trouve de nouveau une dissociation incomplète au début, puis des ions complexes d'un certain type et ensuite des ions d'un autre type. C'est également le cas pour Cl_2Mg et Cl_3Al [26]. Les mêmes principes ont pu être appliqués aux solutions alcooliques de INa, où l'effet Einstein rend assez bien compte de la viscosité.

BIBLIOGRAPHIE

1. E. Darmois. — *Bibliothèque de la Société Philomatique*, n° 785.

2. E. Darmois. — *Act. Sc. et Industr.*, n° 945.

3. E. Darmois. — *Mémorial des Sc. Phys.* Fasc. *48* (1946).

4. E. Darmois. — *J. de Phys.* (1941), 2.

5. E. Darmois. — *J. de Chim. Phys., 43* (1946), 1.

6. G. Sutra. — *Thèse* Paris 1946, *J. Chim. Phys.*, nov. et déc. 1946.

7. Villat. — *Leçons sur les fluides visqueux.* Gautier-Villars, Paris, 1946.

8. Verwey. — *Chem. Weekblad, 37* (1940) 530.

9. Ulich. — *Hand. Jahrbuch d. Chem. Phys.* bd 6/11, 1933.

10. Cunningham. — *Proc. Roy. Soc. 83 A* (1910), 387.

11. R. A. Millikan. — *Phys. Rev. 21* (1923) 217 et *22* (1923) 1.

12. A. A. Noyes. — *Zeits f. physik Chem. 70* (1910) 335.

13. Am. Soc. Mec. Eng., oct. 1945.

14. E. Hückel. — *Zeits f. Elektroch. 34* (1928) 536.

15. Bernal et Fowler. — *J. Chem. Physics, 1* (1933) 515.

16. P. Wulff. — *Zeits f. Electroch. 47* (1941), 858.

17. E. Darmois et G. Sutra. — *C. R. 222* (1946) 1286.

18. La Mer et Mason. — *J. Chem. Physics, 3* (1935) 406.

19. M. Cordier. — *Thèse,* Paris, 1944. *J. Chem. Phys.*, 1945.

20. M. Magat. — *Zeits f. Physik Chem. 16 B* (1932) 1.

21. Einstein. — *Ann. des Physik, 19,* (1906) 289 ; *34,* (1911) 591.

22. Finkelstein. — *Phys. Zeits, 31* (1930) 130 et 165.

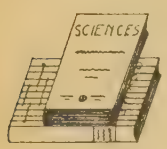
23. Jones et Dole. — *J. Am. Chem. Soc. 51* (1929) 2956.

24. Falkenhagen et autres. — *Electrolytes.* Alcan, Paris (1934).

25. Wolfenden et Laurence. — *J. Chem. Soc.* (1934) 1144.

26. R. Darmois. — *Thèse,* Paris (1946).

27. G. Sutra. — *C. R.* (1946), 343.



les livres reçus

BACHELARD (Gaston). — **Le rationalisme appliqué.** (Presses Universitaires, Paris.) 360 francs.

BAUER (Edmond). — **L'Electromagnétisme hier et aujourd'hui.** (Albin Michel, Paris.) 490 francs.

BLOCH (A.) et GUILLAUMIN (G.). — **La géométrie intégrale du contour gauche.** (Gauthier-Villars, Paris.) 1.500 francs.

BOLL (Marcel). — **La Mécanique du visible et de l'invisible.** (Larousse, Paris.) 490 francs.

CHAPAS (G.) et CHARMETANT (C.). — **Chimie minérale, 2e partie : Métaux.** (Em. Vitte, Lyon et Paris.) 800 francs.

DENJOY (Arnaud). — **Leçons sur le calcul des coefficients d'une série trigonométrique, 4e partie : Les totalisateurs. Solution du Problème de Fourier** (Gauthier-Villars, Paris.) Les deux fascicules : 1.500 et 2.200 francs.

GUILBERT (Dr Charles). — **Théorie parasitaire du cancer.** (G. Doin et Cie, Paris.) 650 francs.

GUYENOT (E.). — **L'Hérédité (4e éd.).** (Doin et Cie, Paris.) 1.250 francs.

JARRICOR (Dr Jean). — **Pendule et Médecine.** (Doin et Cie, Paris.) 550 francs.

KARRER (Paul). — **Traité de Chimie organique,** traduit de la 10e édit. allemande par Ph. Grandjean. (Editions du Griffon, Neuchâtel.) 78 francs suisses.

LOTHIAN (G. F.). — **Absorption spectrophotometry.** (Hilger, London.) 26/-.

MARTINET (J.). — **Précis de Chimie d'après les théories modernes.** (G. Doin et Cie, Paris.) 1.450 francs.

RABAUD (Etienne). — **L'instinct et le comportement animal.** (Coll. Armand Colin, Paris.) Deux volumes, 180 francs chacun.

SCHIFF (Leonard I.). — **Quantum Mecanics.** (McGraw Hill Books Cie, London.) 1/10/6.

SYNTHESES ORGANIQUES, Vol. II. (Masson, Paris.) 2.400 francs.

ARCHIVES DE L'INSTITUT INTERNATIONAL DES SCIENCES THEORIQUES. — **Problèmes de Philosophie des Sciences, fasc. II, III, IV, V et VI.** (Herman et Cie, Paris.)

APPLICATIONS DES ULTRA-SONS A LA CHIMIE

par Joseph HEUBEL

Assistant à la Sorbonne, Docteur ès Sciences

I. — DEFINITION

On appelle ultra-sons toutes les vibrations matérielles dont la fréquence dépasse la limite supérieure de fréquence audible. On admet, de façon générale, que l'oreille perçoit tous les sons correspondant à l'échelle des vibrations comprises entre 16 et 20.000 périodes/seconde ou encore 16 cycles et 20 kilocycles. Avec les appareils les plus récents, on est arrivé à produire des vibrations allant jusqu'à 5.10^5 kilocycles. Le domaine des ultra-sons exprimé en longueur d'onde s'étend ainsi de 1,6 cm à $0{,}6 \times 10^{-4}$ cm dans l'air ($v = 330$ m/s), de 6 cm à 2.4×10^{-4} cm dans les liquides ($v \# 1.200$ m/s) et de 20 cm à 8×10^{-4} cm dans les solides ($v \# 4.000$ m/s).

Les lois de l'acoustique des sons audibles s'appliquent sans modification aux ultra-sons.

Du fait de leur faible longueur d'onde, il est à prévoir que les ultra-sons présentent des caractères nouveaux, insoupçonnés dans le domaine audible, un peu comme les rayons ultra-violets et les rayons X par rapport à la lumière visible.

II. — PRODUCTION D'ULTRA-SONS

Plusieurs méthodes ont été proposées pour produire les ultra-sons. (Procédés mécaniques : sifflets à ultra-sons, générateurs par frottement et générateurs thermiques.) Deux surtout sont d'un emploi courant pour leur commodité et la qualité des ultra-sons émis : méthode par magnéto-striction et par piézo-électricité.

a) Ultra-sons par magnéto-striction.

Une barre ferromagnétique, introduite dans un champ magnétique parallèle à sa plus grande dimension change de longueur. Le phénomène est réversible. La quantité $\frac{dl}{l}$ est en général négative et très petite (de l'ordre de 10^{-6}). Elle est indépendante du sens du champ. C'est pour le nickel que la variation de $\frac{dl}{l}$ est la plus régulière; c'est lui qu'on emploie généralement.

Le générateur d'ultra-sons est un barreau de nickel placé dans un champ magnétique alternatif. Chaque alternance du champ produit la magnéto-striction; donc on obtiendra une vibration de fréquence double de celle du champ magnétique. Si la vibration ainsi obtenue coïncide avec la fréquence propre du barreau, on obtient la résonnance, c'est-à-dire l'effet mécanique maximum.

Si E est le module d'élasticité en dynes/cm², ρ la densité du barreau, l sa longueur en cm, la fréquence propre fondamentale s'écrit

$$N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

$\frac{dl}{l}$ dans ce cas prend une valeur voisine de 10^{-4}.

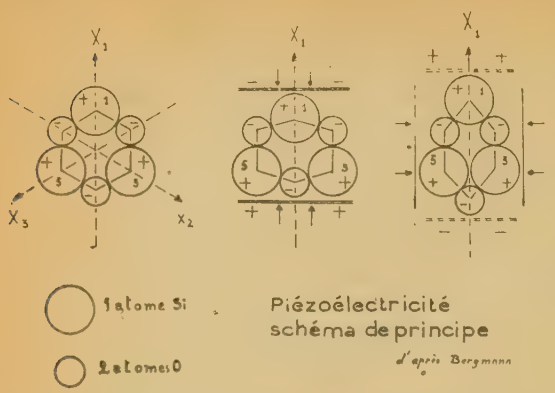
Le générateur par magnéto-striction ne produit guère que des vibrations de fréquences inférieures à 60 kilocycles. La longueur du barreau de nickel correspondant est 4 cm. Au delà, les difficultés de construction deviennent trop grandes (difficulté de loger la bobine).

b) Ultra-sons par piézo-électricité.

En exerçant une pression sur deux faces opposées d'un cristal hémièdre convenablement taillé on fait apparaître sur ces faces des charges électriques de signe contraire (Curie). Inversement, en appliquant un champ électrique sur les deux faces opposées, on fait varier l'épaisseur du cristal. C'est le phénomène de piézo-électricité.

Si le champ électrique est alternatif, le cristal vibre à la fréquence du champ. Le mécanisme élémentaire de la piézo-électricité est schématisé par la figure 1. Elle correspond à un cristal de quartz. Les atomes de silicium sont représentés par des cercles de gros diamètre, les atomes d'oxygène, chaque paire par un cercle de petit diamètre.

Le cristal universellement employé est le quartz. Les faces sont parallèles à l'axe optique et perpendiculaires à un axe binaire (en



admettant le cristal non hémièdre). L'effet maximum est obtenu à la résonnance, c'est-à-dire si la vibration produite coïncide avec la fréquence élastique propre du quartz. Celle-ci est donnée par la formule $N = \frac{1}{2e}\sqrt{\frac{En}{\rho}}$ e étant l'épaisseur, ρ la densité et E_n le module d'élasticité en dynes/cm² suivant la direction considérée. Pour le quartz, $\rho = 2{,}65$ (Voigt), E_n voisin de 85×10^{10} dynes/cm² suivant l'épaisseur. D'où $N = \frac{283.900}{e}$ cycles.

La fréquence limite utilisable pour le quartz est environ 5×10^4 kilocycles. L'épaisseur est alors 0,054 mm.

Pour dépasser cette fréquence, il est nécessaire de chercher la résonnance avec les harmoniques supérieurs (meilleurs résultats avec les harmoniques impairs). On peut concentrer le rayonnement ultra-sonore en employant des quartz sphériques.

Pour avoir des oscillateurs de grande surface, on emploie en général le triplet acier, quartz, acier proposé par Langevin. Comme les vitesses de propagation dans l'acier et le quartz sont voisines, l'ensemble fonctionne comme un quartz unique de même épaisseur que celle du triplet. Cet appareil permet d'obtenir des ultra-sons de basse fréquence surtout.

Le champ alternatif est obtenu couramment par couplage du quartz en parallèle sur un circuit oscillant comprenant une self et une capacité variable. Les oscillations sont produites par une triode.

III. — APPLICATIONS

Depuis les travaux de Langevin (1917), qui cherchait un moyen de détection des sous-marins pendant la guerre mondiale, les recherches entreprises dans le domaine des ultra-sons ont été très poussées. Un ouvrage récent de Bergmann [1] (dont la première édition remonte à 1937) fait une synthèse remarquable des connaissances actuelles sur ce sujet. La dernière édition (1944) comporte plus de 1.100 références.

En France, les travaux les plus importants ont été effectués par Lucas, Marinesco et leurs collaborateurs.

On a découvert de nombreuses applications, tant en biologie qu'en physique (télécommunications, télévision, mesures) et qu'en chimie (métallurgie, verrerie, colloïdes, macromolécules, électrolyse...). Certaines — elles sont rares — ont lieu à l'échelle industrielle, d'autres sont essayées au laboratoire, d'autres enfin sont suggérées. Ces dernières paraissent souvent très intéressantes.

Les applications des ultra-sons en chimie reposent sur deux propriétés fondamentales : leur propagation pratiquement rectiligne (qui en fait une méthode de choix pour l'exploration des corps opaques à la lumière) et l'énergie considérable pouvant être libérée dans les régions irradiées.

La première propriété a permis de les utiliser en métallurgie et en verrerie d'optique pour la vérification des pièces, la détection des pailles et des tensions.

Des installations d'ultra-sons fonctionnent actuellement dans diverses industries françaises. Nous avons eu l'occasion d'en voir une dans une grande industrie métallurgique de la région parisienne.

L'appareillage comprend essentiellement un quartz émetteur et un récepteur. Le récepteur peut être lui-même un quartz piézo-électrique. C'est le cas, en général, dans les installations modernes.

L'angle 2θ dans lequel se propage l'onde ultra-sonore (θ : demi-angle de divergence) est donné par la relation approximative $\sin \theta = 0{,}61\,\lambda / R$, λ étant la longueur d'onde, R le rayon de la surface émettrice supposée circulaire. Soit un milieu homogène dans lequel on envoie un faisceau parallèle et dans ce milieu une cavité de diamètre D situé à la distance d de la face supérieure (fig. 2). L'ombre sonore aura un diamètre $D_0 = D - 2\,d\,\mathrm{tg}\,\theta$. La limite de repérage de la paille sera $D_0 = 0$ pour $D = 2\,d\,\mathrm{tg}\,\theta$. Pour une bonne détection des pailles, une autre condition est nécessaire. Le rayonnement doit se transmettre quantitativement ou au moins de manière reproductible. L'accouplement de l'émetteur et du récepteur avec la pièce à contrôler se fait avec une goutte d'huile ou un peu de graisse, par-

fois avec du mercure. Actuellement, on ne peut obtenir un contrôle efficace qu'avec des pièces bien usinées.

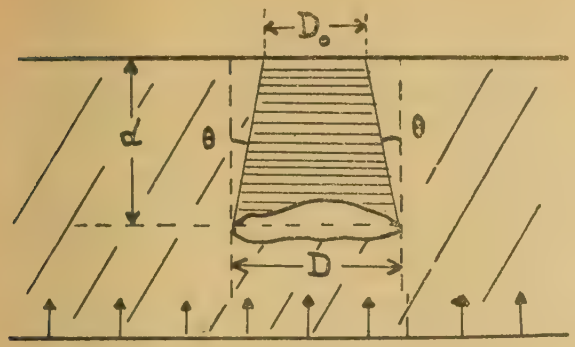


FIG. 2

La détection se fait par plusieurs méthodes : optiques ou électriques. Pour les méthodes optiques, le récepteur est généralement un liquide traversé par un faisceau lumineux avec formation sur un écran de figures caractéristiques appelées par Sokoloff sonnogrammes. Les premiers essais remontent à 1934 [2].

Un système optique employé par Pohlmann [3, 4] nous semble présenter un intérêt certain. Il permet de former directement les images des défauts de la pièce étudiée. Le rayonnement ayant traversé la pièce est condensé par une lentille acoustique au xylol qui reproduit l'image acoustique de la source sur une cuve contenant une suspension de disques très petits en aluminium. L'onde les oriente. Le défaut se détache en noir sur fond blanc.

Mais c'est la détection par les méthodes électriques qui semble devoir être la solution définitive. Elle a l'avantage de permettre un examen point par point. Mais la tension recueillie par le quartz récepteur dépend fortement de la fréquence émise. Cela semble dû en particulier à la résonnance des diverses parties de l'appareil. On y remédie en changeant de fréquence très rapidement. On obtient alors des courbes caractéristiques sur lesquelles se localisent les défauts de la pièce comme autant d'accidents [5].

En Angleterre, on construit actuellement des installations complètes pour sondages de pièces métalliques. Elles sont de faible encombrement et comprennent deux parties. L'une correspond à l'émission, l'autre à la réception et à la détection. Elles ont la forme de deux petites malles. Le contrôle se fait sur l'écran d'un oscillographe cathodique. Un top correspond à l'émission de l'ultra-son, un autre à la réflexion sur le bout de la pièce. Les tops intermédiaires sont dus aux défauts de l'échantillon. Une échelle permet de les localiser aisément (fig. 3).

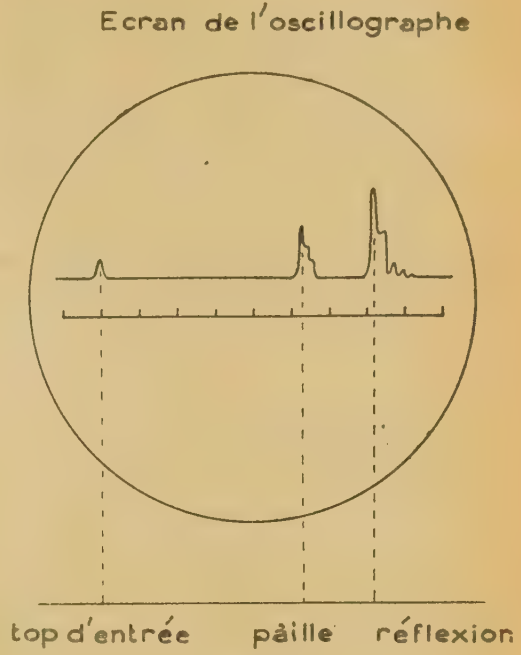


FIG. 3

Cette application des ultra-sons à l'industrie métallurgique peut être considérée comme un cas particulier de télécommunication-repérage qui a été, somme toute, à l'origine du développement de cette branche de la Science.

La plupart des autres applications des ultra-sons à la chimie — tant au laboratoire que dans l'industrie — reposent sur le fait qu'ils permettent de libérer des quantités considérables d'énergie en certains points et, en particulier, sur le phénomène de cavitation.

La cavitation est la formation de cavités dans un liquide par un déchirement interne dû à des basses pressions intenses.

L'affaissement de ces cavités sous l'effet de la pression extérieure libère des quantités considérables d'énergie. Ce phénomène apparaît aussi pour des turbines ou des propulseurs tournant à grande vitesse dans un liquide et peut produire la détérioriation des matériaux. Lord Rayleigh a calculé les pressions libérées par effondrement de cavités supposées sphériques. Soit r_0 leur rayon, P_0 la pression extérieure qui réduit le rayon de r_0 à r, b le coef-

ficient de compressibilité, la pression libérée est $P = \frac{2\,b\,P_0}{3}\left(\frac{r_0^3}{r^3} - 1\right)$. Le calcul pratique donne des pressions de plusieurs milliers d'atmosphères.

Le mécanisme de l'intervention des ultra-sons dans les réactions chimiques en milieu liquide ou les transformations physiques reste obscur dans beaucoup de cas, ou du moins discuté. Tous les auteurs sont cependant d'accord pour attribuer le premier rôle à la cavitation. Les applications des ultra-sons basées sur cette propriété sont extrêmement nombreuses.

Les unes n'ont pas encore dépassé le stade du laboratoire. Leur intérêt scientifique est indiscutable, mais leur réalisation industrielle est trop coûteuse ou non rentable. D'autres sont au stade des essais : ce sont sans doute les plus nombreuses.

Parmi les premières, on a signalé de nombreuses réactions chimiques influencées ou même produites par les ultra-sons; oxydation de l'iodure de potassium en solution [6], réduction du chlorure mercurique par l'oxalate d'ammonium, démarrage de réactions explosives sensibles à la percussion — et en général transformation de systèmes métastables de grande sensibilité [9] — déplacement d'équilibres du type ferro-ferrique, formation d'eau oxygénée, de dérivés oxygénés de l'azote, d'oxygène activé à partir de l'eau et de l'air [6, 7, 8], activation de certaines isomérisations [8], changement de coloration de colorants organiques par oxydation...

De fait, presque toutes ces réactions disparaissent si l'on supprime la cavitation. On admet qu'au moment de l'effondrement des cavités, les charges accumulées sur leurs parois sont libérées et provoquent une ionisation locale intense [6] (en particulier des gaz dissous). D'où une activation.

En chimie physique on a proposé l'emploi des ultra-sons pour l'étude de la cinétique des réactions très rapides en phase gazeuse [10, 11]. La vitesse de réaction se déduit de mesures de vitesses de propagation en fonction de la fréquence émise.

Certains organiciens d'autre part, sont parvenus à établir des règles empiriques pour la détermination des liaisons fonctionnelles à partir de mesures de vitesse et d'absorption [11].

Beaucoup plus importante est la propriété dispersive des ultra-sons. Des énergies considérables peuvent être libérées et provoquer les mêmes phénomènes qu'une agitation mécanique, mais considérablement amplifiés. La chimie des colloïdes est un terrain de choix pour l'application de ces propriétés.

a) Formation d'émulsions.

Les ultra-sons permettent d'obtenir des émulsions très finement dispersées. Le résultat est particulièrement remarquable pour les émulsions de mercure dans l'eau ou d'alliages très fusibles dans l'eau (Marinesco). Cet effet d'ailleurs semble réversible et l'on atteint après un certain temps un équilibre.

Cette propriété des ultra-sons peut être d'un très gros intérêt dans la technique de la flottation [12].

Le liquide collecteur, dont le rôle est d'enrober les cristaux et de les rendre non mouillables, doit être très dispersé de façon à pouvoir couvrir les surfaces des cristaux de couches très fines (monomoléculaires en général). Petersen, dans une étude parue en 1937, a fait des essais comparatifs. Les séparations obtenues par ultra-sons sont nettement supérieures à celles atteintes avec des émulsions par agitation et tendent à se rapprocher des résultats obtenus avec une solution vraie du collecteur dans l'alcool.

b) Dispersion des solides dans les liquides.

Le brassage par ultra-sons est tellement énergique, qu'on arrive non seulement à émulsionner les liquides, mais encore à disperser des solides. Par exemple le fil d'une lame de rasoir est profondément corrodé par les ondes ultra-sonores. De même on arrive à disperser le verre d'un récipient dans l'eau pure qu'il contient [13]. On peut disperser de même de l'étain, du plomb, de l'argent, du bismuth, du soufre, de l'iode, des substances cellulosiques [14]. Ces suspensions sont très stables et formées de particules ultra-microscopiques. Il y a là un vaste champ d'application dans tous les cas où l'on cherche à constituer une phase aussi voisine que possible d'un alliage ou d'une solution.

On voit immédiatement l'intérêt que prend la question en chimie analytique, en métallurgie, dans l'industrie des colorants et en photographie.

Lorsqu'il s'agit d'analyser un mélange hétérogène insoluble dont une partie est susceptible de dispersion (gel thixotrope) les ultra-sons permettent — sur une suspension aqueuse — la séparation en deux phases que l'on peut examiner séparément après centrifugation par exemple. (Analyses de terrains argileux-siliceux [15]).

Ils peuvent provoquer aussi des dispersions d'un métal dans un autre et fournir des pro-

duits dont les propriétés sont analogues à celles des alliages. Le plomb dispersé dans l'aluminium rend celui-ci moins cassant, plus malléable et plus ductile [16]. (Etamage de l'aluminium.)

Des oxydes métalliques peuvent être dispersés directement dans du verre en fusion avec obtention d'une couleur extrêmement homogène [16].

En photographie les ultra-sons permettent de résoudre de façon élégante le problème du « grain fin ». L'addition de peptisants devient superflue. D'autre part on peut colorer le bromure d'argent beaucoup mieux qu'avec le procédé classique (90 % au lieu de 15 %) [17].

Une méthode très intéressante pour la dispersion des métaux est l'électrolyse dans un champ ultra-sonore. Le degré de dispersion dépend de la surface de la cathode, de l'intensité et de la fréquence de l'ultra-son. Les meilleurs résultats sont obtenus avec les métaux difficiles à galvaniser, avec des cathodes très lisses, une grande fréquence et intensité, une faible densité de courant et concentration d'électrolyte. On obtient soit des dépôts très fins, soit de véritables sols. Une application de ce procédé semble dès maintenant devoir prendre un grand développement : c'est la fabrication de catalyseurs métalliques à grande surface.

c) Coupure de hauts polymères.

De nombreux essais ont été faits avec de hauts polymères : gélatine, amidon, gomme arabique, agar-agar, sucre de canne, paraformaldéhyde, nitrocellulose, etc... Les ultra-sons coupent les molécules jusqu'à les réduire à des corps dont le poids moléculaire est d'environ 50.000 [18]. Kausche, Pfannkuch et Ruska [19] ont pu observer au microscope électronique la rupture de molécules géantes de protéine. La longueur de ces molécules passait de 320 à 120, puis à 80, et enfin à 40 mμ.

Certains auteurs croient devoir y trouver un effet mécanique (déchirement des molécules filiformes enchevêtrées qui ne peuvent plus suivre le mouvement du liquide), d'autres y voient un effet secondaire après production d'oxydants au sein du milieu.

Quoi qu'il en soit, l'industrie organique peut tirer des profits intéressants de cette propriété.

d) Influence coagulante des ultra-sons.

La dispersion par les ultra-sons est souvent réversible de sorte que l'on aboutit au moins, dans le cas des hydrogels, à des équilibres. Parfois il peut en résulter de véritables précipitations (application au détartrage).

Dans le cas des aérosols, surtout, l'action coagulante est la plus marquée, puisque l'effet de cavitation n'existe plus. Cela suggère l'application au dépoussiérage, à la suppression des brouillards et des fumées. Les essais ont donné de bon résultats. Mais l'utilisation des installations ultra-soniques se trouve concurrencée par les procédés électrostatiques qui exigent une bien plus faible dépense d'énergie. Bien que les améliorations à venir puissent permettre d'amortir de telles installations on peut songer dès maintenant à les utiliser là où le dépoussiérage électrostatique n'est pas applicable : fumées et brouillards explosifs ou inflammables.

e) Dégazage de liquides.

La forte dépression existant dans les cavités produit une libération des gaz dissous. Des bulles se forment et se séparent ensuite du liquide. Ce dégazage dépend fortement de la pression comme la cavitation elle-même. Il existe une pression critique au-dessus de laquelle il n'y a plus de dégazage. D'autre part le phénomène dépend fortement de la fréquence.

Les ultra-sons ont été proposés pour dégazer les magmas en fusion, dans lesquels les inclusions de gaz sont nuisibles. C'est d'un grand intérêt en métallurgie et plus encore dans la verrerie d'optique.

Malheureusement les difficultés techniques sont considérables, en particulier quant à la transmission sans perte des ultra-sons au bain. Malgré les travaux effectués à ce sujet et les brevets qui ont été pris, cette application n'est pas encore au point. Signalons qu'un procédé mis au point par Esmarch, Rummel et Beuther permet de produire l'onde ultra-sonore au sein même de la masse en fusion [20 21].

Par ailleurs le brassage énergique d'un magma métallique en fusion a d'autres résultats surprenants. Il abaisse le point de fusion et augmente la vitesse de solidification. En même temps les cristaux obtenus deviennent très fins. Les ultra-sons favorisent la formation de cristaux mixtes.

La dislocation des particules produite par les ultra-sons permet aussi d'accélérer notablement la pénétration de l'azote dans les métaux et l'on obtient ainsi, en des temps relativement courts, des épaisseurs notables de couches nitrurées.

RESUME ET CONCLUSIONS

Les ultra-sons sont une acquisition relativement récente dans l'arsenal de la technique moderne, et, comme toute acquisition récente, elle est un objet de curiosité très justifiée pour les chercheurs et les techniciens. Chacun y découvre une possibilité nouvelle dans son propre domaine. Il s'y ajoute parfois une question de vogue.

Les applications suggérées dans le domaine de la chimie sont nombreuses. Très peu d'entre elles sont encore réalisées à l'échelle industrielle. Parmi les plus importantes, nous avons relevé celles qui permettent d'une part l'examen des matériaux élaborés, spécialement en métallurgie et en verrerie d'optique, d'autre part toutes celles qui font appel à l'énergie mécanique concentrée du rayonnement ultrasonore. Ces dernières sont très nombreuses, concernant surtout les systèmes liquides (colloïdes, suspensions, magmas, émulsions...). Il n'est pas douteux qu'elles vont se développer encore, certaines aboutissant à des impossibilités pratiques, d'autres étant appelées à connaître des développements surprenants.

Dans l'ensemble, malgré ses trente ans, la question des ultra-sons est encore à ses débuts. De nombreux travaux sont encore nécessaires. Mais elle contient des promesses certaines.

J. HEUBEL.

BIBLIOGRAPHIE

1. BERGMANN. — *Des Ultraschall*, VDI Verlag, Berlin n° 7.
2. SOKOLOFF. — *Phys. Z., 36*, 142, 1935.
3. POHLMANN. — *Z. Phys.*, 113, 697, 1939.
4. POHLMANN. — *Forsch. und Fortsch., 16*, 248, 1940.
5. MEYER et BOCK. — *Akust. Z., 4*, 231, 1939.
6. GRABAR et PRUDHOMME. — *C. R., 226*, 1821, 1948.
7. André et Roger KLING. — *C. R., 223*, 33, 1946.
8. LLIBOUTRY. — *J. Chim. Phys., 41*, 173, 1944.
9. RICHARD and LOOMIS. — *J. Amer. Chem. Soc., 49*, 3086, 1927.
10. BAUMGARDT. — *Ch. et Industrie, 36*, 686, 1936.
11. SCHMIDT. — *Chemie, 56*, 67-71, 20 mars 1943.
12. PETERSEN. — *Metall und Erz, 34*, 367, 1937.
13. CLAUS und SCHMIDT. — *Kolloid Beihefte, 45*, 41, 1936.
14. BUCKINGHAM. — *Paper Ind., 18*, 749, 1936.
15. KRAINER. — *Metall und Erz, 35*, 471, 1938.
16. MARINESCO. — *Centre de perf. techn.*, 1944-1945.
17. CLAUS. — *Z. Techn. Phys., 16*, 109, 1935.
18. GRABAR et PRUDHOMME. — *J. Chim. Phys., 44*, 145, 1947.
19. KAUSCHE, PFANNKUCH et RUSKA. — *Naturwiss., 29*, 573, 1941.
20. RUMMEL, ESMARCH, BEUTHER. — *Wissent. Veröff. Siemens Werke Werkstoffsonderheft*, p. 78, 1940.
21. RUMMEL, ESMARCH, BEUTHER. — *Metallwirtsch., 19*, 1029, 1940.
22. POPOV MASLOB. .. *Jor. Delo, 12* n° 8, 397-399, 1936.

Pour la documentation générale nous renvoyons aux conférences de Marinesco, pour la bibliographie détaillée aux références de Bergmann.

LES PLUS GROS CRISTAUX DU MONDE ET LES INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES A LA FOIRE DE PARIS (1)

Afin de développer les applications de la microscopie dans l'ultra-violet et de l'analyse spectrographique dans l'infra-rouge et l'ultra-violet, l'Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques a mis au point la fabrication de monocristaux artificiels dont les dimensions excèdent de loin ceux que peuvent fournir les gisements naturels, d'ailleurs extrêmement rares.

Les visiteurs de la Foire de Paris pourront voir du 21 mai au 6 juin, stand 301, hall 3, toute une série de ces cristaux artificels pesant jusqu'à 23 kilos, en chlorure de sodium, bromure de potassium, nitrate de sodium, fluorure de calcium, fluorure de lithium, chlorure d'argent, halogénures du thallium, etc... destinés à être taillés en prismes, disques, lentilles, lames, fenêtres ,etc... de grandes dimensions pour la construction de microscopes et de spectographes.

En outre, l'O.N.E.R.A. présentera toute une série d'appareils de mesure et de contrôle qui, mis au point pour les besoins de ses laboratoires, peuvent rendre d'inestimables services à de nombreuses industries.

(1) Stand 301, Hall 3

Les examens cytologiques modernes
EN PATHOLOGIE SANGUINE

par J. MALLARMÉ

L'examen des cellules, chez l'homme, n'est pas né d'hier. C'est Ehrlich, vers 1891, qui inaugura l'étude cytologique du sang, rendue possible par l'étalement, la fixation et la coloration des globules du sang. Elle fit depuis lors de grands progrès, et particulièrement lorsqu'on substitua, à la coloration du triacide d'Ehrlich, la méthode de Romanowsky à l'éosinate d'azur de méthylène utilisée pour colorer les hématozoaires. En combinant la méthode de Romanowsky et l'éosinate de bleu de méthylène, Pappenheim a donné à la cytologie sanguine une coloration excellente et définitive, dite encore de May-Grüwald-Giemsa.

L'étude cytologique ne s'était pas arrêtée au sang. Elle s'étendit aux épanchements pleuraux, au liquide céphalo-rachidien, aux urines, aux cellules de sécrétion, aux crachats, au suc gastrique, aux sécrétions du vagin et de l'endomètre, au sperme, aux tumeurs liquides, etc., etc.

Néanmoins elle semblait logiquement réservée, en exclusivité, à tout ce qui, dans l'organisme humain, était liquide ou fluide, c'est-à-dire se laissant facilement étaler sur lame, et dans quoi des éléments cellulaires devenaient distincts et séparés.

A ne considérer que cette branche de la médecine, l'hématologie, qui est la principale à se servir de cytologie, on s'est concenté longtemps de l'examen du sang périphérique. L'étude des organes hématopoïétiques : moelle, rate, ganglions, que l'on sait être très importante, était dévolue à l'anatomie pathologique, comme du reste l'examen de tous les tissus solides et compacts de l'organisme humain. Pratiquement, ces examens sont faits le plus souvent *post mortem* et dans de mauvaises conditions d'étude, en raison de l'altération cadavérique extrêmement rapide des tissus hématopoïétiques. Les examens anatomiques du vivant ne sont aisés que pour les ganglions; les biopsies de la moelle hématopoïétique contenue dans les os sont assez délicates, celle de la rate n'est possible qu'après intervention chirurgicale. Au demeurant, l'anatomie pathologique, qui utilise des coupes fixées et colorées, a le très grand avantage de conserver l'architecture de l'organe examiné. Mais elle altère considérablement les cellules qui, tassées, condensées, ratatinées, se chevauchent. Or la conservation de cellules intactes, qu'elles viennent du sang ou des organes hématopoïétiques, a une importance primordiale en hématologie.

C'est pourquoi l'introduction dans la pratique hématologique de ponctions d'organes et de préparations analogues à celles faites avec le sang a pris aujourd'hui une importance telle qu'on peut dire sans exagération qu'elle constitue une véritable révolution pour cette branche de la médecine.

L'examen cytologique de la moelle osseuse fut la première de ces innovations, lorsque le Russe Arinkin décrivit une technique très commode de ponction osseuse à l'aiguille. La ponction est faite habituellement dans le sternum, en raison de la minceur de la lame antérieure de l'os qui se laisse aisément perforer; elle peut être effectuée autre part, au niveau d'une crête iliaque ou d'une apophysie épineuse vertébrale; chez le nourrisson, on préfère la ponction de l'épiphyse tibiale.

La méthode est simple, exempte de danger et de douleur, elle se passe en quelques secondes; si bien qu'elle est devenue une exploration banale demandée tous les jours à l'hôpital ou en clientèle de ville. La ponction, faite avec une aiguille spéciale, permet de retirer du suc médullaire, d'étaler, de colorer comme le sang, et d'en faire l'examen au microscope.

La ponction splénique et la ponction ganglionnaire ne sont possibles que lorsque la

rate et les ganglions sont tuméfiés. Elles se font avec des aiguilles fines munies ou non de mandrin. Si la ponction ganglionnaire n'est pas traumatisante, pas dangereuse, il n'en est pas toujours de même de la ponction splénique qui traverse le péritoine. C'est pourquoi cette dernière ne doit être faite que dans certains cas particuliers et avec des indications précises.

Grâce aux ponctions on ajoute aujourd'hui à l'examen de sang (hémogramme), des examens de moelle (myélogramme), de ganglion (adénogramme), et de rate (splénogramme). Ainsi possède-t-on un panorama assez complet de l'hématomoïèse normale ou pathologique.

La moelle osseuse est l'usine principale où sont fabriquées la plupart des cellules du sang : les globules rouges, les globules blancs polynucléaires et les plaquettes. L'examen au microscope du myélogramme coloré permet d'en voir les constituants, érythroblastes ou globules rouges à noyaux, myélocytes qui sont les ancêtres des polynucléaires, mégacaryocytes formant les plaquettes.

Les ganglions et la rate élaborent principalement les leucocytes mononucléaires, lymphocytes et monocytes.

La description de chacun de ces éléments relève d'un livre de spécialité et nous ne nous y attarderons pas. Mais nous allons essayer de montrer à grands traits quels services peuvent rendre ces méthodes de « ponctions couplées ».

Tout d'abord il est certain qu'en pouvant explorer les organes dans leur intimité, du vivant du malade, on arrive à mieux caractériser et connaître certaines maladies. Parmi beaucoup d'exemples, un des plus frappants est celui de l'anémie pernicieuse, ou maladie de Biermer, cette affection si particulière qui donne une anémie intense autrefois mortelle, que l'on guérit aujourd'hui par le foie de veau et l'acide folique. Or pendant longtemps on a confondu sous le nom d'anémie pernicieuse toutes sortes d'anémies graves qui ne sont pas des maladies de Biermer. Le jour où la ponction sternale fut possible, on démontra aisément qu'à la seule maladie de Biermer appartenait un aspect très particulier des hématies à noyaux de la moelle, qu'on appelle mégaloblastes; les mégaloblastes ne se voient pas en dehors de ce type d'anémie, et d'ailleurs disparaissent par l'hépatothérapie, comme l'anémie qu'ils font naître.

Autre exemple : longtemps, on a décrit une anémie aplastique cryptogénétique, anémie arégénérative. Depuis l'emploi de myélogramme on démontre que la plupart de ces anémies aplastiques sont en réalité des leucoses leucoblastiques aleucémiques, c'est-à-dire des leucoses dont l'examen du seul sang ne contient pas les cellules souches caractéristiques de la maladie, et que seul révèle l'examen de la moelle.

Les examens cytologiques de ponctions rendent d'énormes services pour le diagnostic précoce des maladies de sang. Le myélogramme résout souvent très simplement le problème des anémies graves. Il démasque les leucoses et leurs variétés, le myélome, les réticuloses. Citons le cas de réticulose métabolique lipidique qu'on appelle maladie de Gaucher et dont

---

LEGENDES DE LA PLANCHE HORS-TEXTE

En haut et à gauche :

Splénogramme (par ponction splénique) d'une maladie de Gaucher.

En haut et à droite :

Adénogramme (par ponction ganglionnaire d'un réticulosarcome.

Au centre :

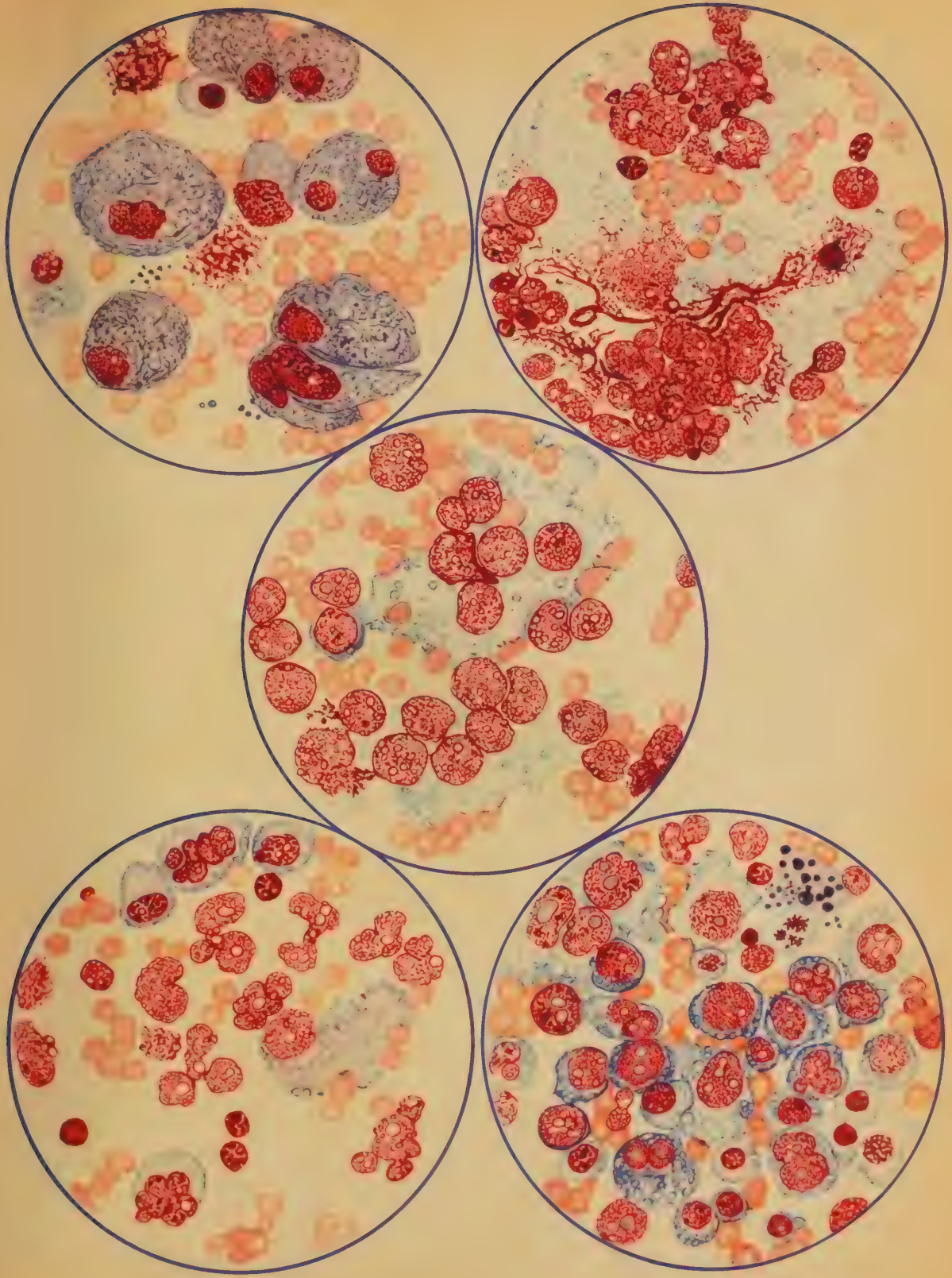
Adénogramme (par ponction ganglionnaire) d'un lymphosarcome.

En bas et à gauche :

Adénogramme (par ponction ganglionnaire) d'un réticulosarcome.

En bas et à droite :

Myélogramme (par ponction sternale) d'une leucose maligne « blastique ».



l'évolution est lente : Une malade commence à présenter les premières atteintes de son mal en 1912, sous forme de grosse rate; pendant des années les plus grandes sommités médicales se penchent sur ce cas, émettent toutes les hypothèses; et ce n'est qu'en 1935 qu'on connaîtra l'exact diagnostic, le jour où l'on peut ponctionner la moelle et la rate de la femme.

Les ponctions d'organes sont particulièrement instructives pour faire le diagnostic des affections malignes de type cancéreux des centres hématopoïétiques; celles-ci sont très fréquentes en hématologie. Les étalement cellulaires permettent en effet de reconnaître aisément les caractères des cellules cancéreuses. par l'aspect du cytoplasme, du noyau, des divisions qui sont très spéciales. Par les ponctions d'organes on peut découvrir ainsi les cellules métastatiques des cancers viscéraux, métastases parfois cliniquement inapparentes, ou diagnostiquer les lymphosarcomes, les réticulo-sarcomes et la si fréquente maladie de Hodgkin ou lymphogranulomatose, reconnaissable par les cellules de Sternberg; la maladie de Hodgkin intéresse surtout les voies lymphatiques, c'est-à-dire les ganglions et la rate qu'elle hypertrophie. Jusqu'à ces dernières années on la reconnaissait par biopsie et examen par coupe des ganglions. Aujourd'hui la ponction simple des organes rend le même service.

Une dernière indication enfin des ponctions hématopoïétiques est le diagnostic des parasitoses, le kala-agar et le paludisme en particulier.

Si l'on voulait entrer dans le détail, il y aurait matière à de volumineux traités sur ce sujet. On apprendra seulement ici qu'il est une donnée intéressante et toute nouvelle de la médecine, et qu'il lui a fait faire de grands pas en avant, dans la connaissance d'une des branches les plus difficiles : l'hématologie.

J. MALLARME.

BIBLIOGRAPHIE

Bessis (M). — *Cytologie sanguine.* (Masson, 1948).

Dreyfus (B.). — *Cytologie du ganglion lymphatique normal.*

Emile Weil (P.), Ish-Wahl (P.) et Perles (S.). — *La ponction de la rate.* (Masson, 1936.)

Mallarmé (J.). — *Etude du myélogramme normal et pathologique par ponction sternale.* (Doin, 1937.)

Mallarmé (J.). — *Les Cahiers d'Hématologie* (S. E. D. E. S., Paris.) - I. *Le sang normal* (Cytologie descriptive et techniques d'examen) ; II. *Le sang pathologique : La maladie de Biermer et les maladies parabiermériennes.* (Sous presse.)

CULTURE PHYSIQUE
GÉNÉRALE ET MÉDICALE
MASSOKINESITHÉRAPIE

Enfants :
15, rue Malebranche
Odéon 43-25

M. GUÉNOT

Adultes :
115, boul. St-Germain
Danton 01-36

Les problèmes visuels du Navigateur *

par A.-M. MONNIER

Professeur à la Sorbonne

I. — INTRODUCTION

Lorsque mon ami le Professeur Fontaine me demanda, au printemps dernier, de faire une conférence à l'Institut Océanographique, mon premier mouvement fut de refuser une invitation si flatteuse. De quel sujet touchant aux choses de la mer pourrais-je vous entretenir avec quelque capacité? En effet, je n'ai envers les problèmes marins qu'une curiosité, parfois très vive, il est vrai, qui sied à un amateur mais ne saurait, en aucune façon, me donner la compétence d'un technicien.

Toutefois, en songeant que mon métier de physiologiste m'avait récemment amené à étudier la vision, le thème de la conférence de ce soir m'apparut immédiatement. Le navigateur doit voir et bien voir en dépit de conditions parfois sévères. La Physiologie peut l'aider dans sa tâche en proposant et en justifiant quelques procédés qui permettent d'améliorer sa vision dans certaines circonstances. C'est ce que je vais tenter de faire en me limitant toutefois à quelques problèmes de vision nocturne et diurne auxquels j'ai plus particulièrement songé.

Je rappellerai tout d'abord quelques notions fondamentales.

Les radiations auxquelles l'œil est sensible forment une gamme restreinte de longueurs d'onde : à peine un octave, de 0 μ 4 pour le violet à 0 μ 75 pour le rouge extrême. Au contraire la gamme d'éclairement susceptible d'actionner l'œil est extrêmement étendue. Par exemple l'éclairement d'un papier blanc est d'environ un tiers de lux au clair de lune, et de plus de 100.000 lux en plein soleil en atmosphère limpide **. Aucune émulsion photographique ne saurait traduire des éclairements aussi différents. Suivant l'ordre de grandeur de l'éclairement des objets à photographier on utilise des émulsions différentes. De même les récepteurs rétiniens, c'est-à-dire les cellules nerveuses sensibles à la lumière et qui tapissent la rétine ne sont pas uniformes. C'est à Parinaud [11], il y a environ trois quarts de siècle, que nous devons la découverte de la dualité fonctionnelle des récepteurs rétiniens. Ceux-ci sont de deux types différents : les cônes et les bâtonnets. Ils se distinguent, non seulement par leur structure et leur répartition sur la rétine, mais encore par toutes leurs propriétés.

Les cônes, localisés surtout à la fovéa, c'est-à-dire sensiblement au centre de la rétine, au voisinage de l'axe optique de l'œil, sont les récepteurs de la vision de jour. Les yeux des Oiseaux à vue essentiellement diurne sont dotés de cônes exclusivement sensibles aux éclairements forts. Les cônes permettent en outre la vision colorée. En effet, comme le supposait Young au XVIII[e] siècle et ainsi que les tout récents travaux de Granit [5, 6] l'ont montré, certains cônes sont particulièrement sensibles à certaines radiations, par exemple aux radiations rouges, d'autres aux vertes et aux bleues, formant ainsi une mosaïque de récepteurs curieusement analogue à la mosaïque de grains trichromes qui recouvre l'émulsion des plaques « Lumière » destinée à la photographie des couleurs. La fovéa comporte environ 150.000 cônes par mm^2, dont le diamètre moyen est de 3 μ, ce qui correspond à un angle visuel de 40 secondes. Chaque cône est relié à une fibre du nerf optique amenant ainsi au cerveau un très petit fragment du champ visuel. Les cônes sont donc l'équivalent d'une émulsion photographique à petits grains; ce sont vraiment les récepteurs de la vision fine et précise. Les bâtonnets sont au contraire absents de la fovéa. Au fur et à mesure que l'on considère des régions rétiniennes plus excentriques, leur densité augmente tandis que celle des cônes décroît. Ce sont les récepteurs de la vision de nuit, seuls présents d'ailleurs chez les Oiseaux rapaces nocturnes (Hiboux). En effet, les bâtonnets sont sensibles aux éclairements très faibles. Un éclairage même médiocre suffit à les exciter jusqu'à épuisement, de sorte que de jour ils sont hors de jeu. Ce n'est qu'après un long repos de dix à trente minutes à l'obscurité totale qu'ils retrouvent leur sensibilité. Ils sont sur-

* Conférence faite, à l'Institut Océanographique, le 11 décembre 1948.

** Un lux est l'éclairement produit par une source d'intensité égale à une bougie internationale, placée à une distance de un mètre.

tout activés par les radiations bleues, mais ne donnent pas de sensation colorée. La nuit, selon le proverbe, « tous les chats sont gris ». Bien que les bâtonnets soient dans la périphérie de la rétine, au nombre d'environ 100.000 par millimètre carré, ils ne donnent qu'une vision floue. Tandis qu'un cône active une seule fibre du nerf optique, un grand nombre de bâtonnets sont réunis par des cellules nerveuses intermédiaires pour actionner une fibre du nerf optique. Celle-ci transmet donc au cerveau les impressions reçues par de multiples bâtonnets épars dans un vaste territoire rétinien correspondant à un champ visuel étendu de l'ordre de 8 à 10° d'arc. L'ensemble des bâtonnets est donc un organe de vision grossière qui se comporte en définitive comme une émulsion photographique à gros grains.

Tous les récepteurs rétiniens ne se rangent peut-être pas dans les deux catégories aussi nettement tranchées que celles indiquées ci-dessus. Il y a vraisemblablement des cônes et des bâtonnets de propriétés intermédiaires. Mais il est cependant hors de doute que les visions diurne et nocturne mettent en jeu deux systèmes très différents.

Je vais maintenant examiner quelques aspects de la vision de jour et de nuit particulièrement intéressants à mon avis pour la navigation.

II. — LA VISION DIURNE DU NAVIGATEUR

Je n'envisagerai la vision diurne que dans trois circonstances différentes :

1) Beau temps, ciel découvert.
2) Beau temps, brume légère.
3) Brouillard dense.

Par beau temps et ciel découvert les conditions visuelles sont idéales, en mer tout au moins, sauf dans la direction du soleil. Dans ce cas, les rayons solaires pénètrent dans l'œil, soit directement, soit après réflexion sur la mer et rendent peu distincts les objets avoisinant cette direction. Pourquoi? Il semble qu'il faille incriminer la lumière diffuse au sein des milieux intra-oculaires. Ces milieux ne sont pas absolument transparents et diffusent quelque peu. D'autre part, les parois internes du globe oculaire ne sont pas totalement absorbantes à la façon du vernis noir mat qui recouvre l'intérieur de toute chambre photographique. La paroi interne de l'œil est pourtant revêtue d'une tunique, la choroïde teintée par un pigment noir et susceptible d'absorber la lumière, mais insuffisamment.

En conséquence comme l'a montré récemment Yves Le Grand [9, 10], 2 % environ du flux lumineux incident est diffusé au sein de l'œil. Si ce flux est intense, comme lors d'une observation dans la direction du soleil lorsque les rayons solaires pénètrent directement dans l'œil, la rétine est uniformément éclairée par ce flux : l'image rétinienne est en quelque sorte « voilée », les contrastes entre les objets diminuent et ceux-ci deviennent moins distincts. Le palliatif dans ce cas est évident : éviter la pénétration des rayons solaires dans l'œil au moyen d'une visière : munir les jumelles de tubes parasoleil qui empêchent l'arrivée des susdits rayons sur les objectifs.

Par beau temps et brume légère les objets lointains sont moins distincts car ils se détachent de façon peu marquée sur un fond lumineux plus ou moins bleuté. La lumière est diffusée par les très petites particules d'eau qui forment la brume. Mais toutes les radiations ne sont pas diffusées également. Lord Rayleigh a montré que les radiations de courtes longueurs d'onde sont beaucoup plus diffusées que celles de grandes longueurs d'onde. La diffusion est inversement proportionnelle à la quatrième puissance de la longueur d'onde (fig. 1). En conséquence les radiations

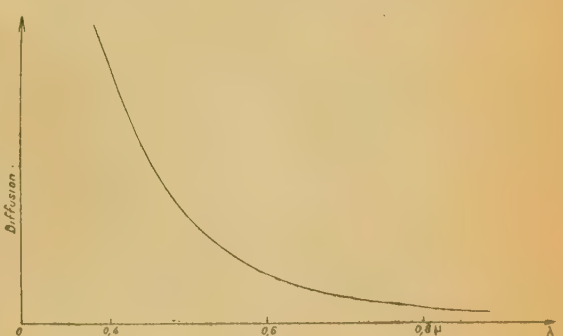


Fig 1

bleues sont notablement plus diffusées que les radiations rouges, d'où l'aspect bleu de la brume légère. Le phénomène s'observe toujours quand les particules diffusantes sont de dimensions faibles par rapport à la longueur d'onde. C'est ce qui se passe au sein de la brume quand les particules sont petites et à plus forte raison au sein des molécules des gaz. C'est ce qui donne au ciel sa couleur bleue. La teinte rouge ou orangée des nuages au lever ou au coucher du soleil s'explique de la même manière. Les rayons solaires perdent alors par diffusion au sein du nuage la majeure partie de leurs radiations bleues et seules les radiations orangées et rouges sont transmises et parviennent à l'observateur. Ceci dit, il est très

utile par temps de brume légère d'imiter un procédé bien connu des photographes. Si on place devant les yeux des verres absorbant de préférence les radiations de courte longueur d'onde bleues et violettes, plus précisément des verres ayant une absorption croissant à peu près en raison inverse de la quatrième puissance de la longueur d'onde, les effets nuisibles de la lumière diffusée, par la brume sont considérablement réduits. Le voile bleu qui noie les détails lointains est dissipé de façon souvent remarquable. Il ne semble pas que l'avantage que procure ce procédé si simple soit suffisamment connu et apprécié. Il nous paraît devoir être recommandé fréquemment aux navigateurs surtout pour la raison suivante : la mer reflète le bleu du ciel et diffuse aussi la lumière ainsi reçue selon la loi de Rayleigh, d'où sa teinte bleue caractéristique. Il en résulte qu'en général la lumière que reçoit l'œil observant la mer est très riche en radiations bleues. Or l'œil, contrairement aux objectifs photographiques, est affecté d'un chromatisme accusé, car l'indice de réfraction des milieux oculaires varie notablement avec la longueur d'onde, comme l'a montré Polack [12, 13]. L'œil normal observant des objets distants est « mis au point » pour les radiations auxquelles les cônes sont le plus sensibles; c'est-à-dire pour les radiations jaunes. C'est aussi pour ces radiations que, selon Charles Lapicque [8], les effets de la diffraction sont minima. En conséquence l'œil normal est myope de près d'une dioptrie pour les radiations bleues. Si celles-ci prédominent comme c'est le cas lors de l'observation de la surface de la mer les images rétiniennes sont irisées de contours bleutés qui troublent certainement la vision. C'est pourquoi les verres absorbant les radiations bleues accroissent remarquablement la netteté des objets lointains à la surface de la mer.

Quant à la vision par temps de brouillard, je ne considérerai que le cas où la couche de brouillard est dense mais de faible épaisseur et directement illuminée par le soleil. C'est une circonstance fréquemment rencontrée en avion lors de la traversée d'un nuage. La lumière solaire diffusée par le nuage est alors particulièrement intense et provoque une sensation pénible qui s'explique facilement. L'œil est alors atteint par un flux lumineux considérable qui lui parvient de toutes les directions. En conséquence la lumière diffusée au sein de l'œil devient très importante, la rétine est soumise à un éclairement uniforme, très considérable, difficile à supporter et qui, en outre, voile tous les détails des images. C'est ce qu'on observe aussi en haute montagne, par temps clair sur les champs de neige. Le port de verres absorbants s'impose alors. La vision des objets noyés dans le brouillard devient plus distincte surtout du fait de la suppression de la sensation pénible d'éblouissement. Bien que la loi de Rayleigh ne s'applique plus en toute rigueur du fait de la dimension notable des gouttelettes formant un brouillard dense, il est avantageux que les verres absorbent de préférence les radiations bleues, car celles-ci prédominent néanmoins dans la lumière diffusée. Il suffit pour s'en convaincre de considérer la teinte rougeâtre que prennent la nuit par temps de brouillard les feux blancs. Ce qui montre bien que les radiations bleues de leur lumière subissent une diffusion plus accentuée.

III. — LA VISION NOCTURNE DU NAVIGATEUR

Les problèmes visuels nocturnes sont de beaucoup les plus importants pour le navigateur. C'est, en effet, un truisme que l'on voit moins bien la nuit que le jour. L'homme ne dispose que d'un organe visuel de nuit très imparfait, constitué par les bâtonnets de la rétine. Comment en tirer le meilleur parti suivant les circonstances?

a) La sensibilité aux très faibles lumières et l'adaptation à l'obscurité.

Tout le monde sait qu'en passant du plein soleil dans un local sombre on est temporairement aveugle. Ce n'est que peu à peu que la sensibilité visuelle revient. Ce qu'on sait moins, c'est que les bâtonnets exigent pour que se manifestent leur pleine sensibilité aux lumières infimes un temps de repos à l'obscurité totale qui peut excéder une demi-heure; Hecht [7], en effet, a mesuré la sensibilité de l'œil, c'est-à-dire l'éclairement minimum perceptible en fonction du temps de séjour préalable à l'obscurité. C'est ce qu'il appelle la courbe d'adaptation à l'obscurité. La figure 2 reproduit la courbe d'adaptation de la rétine éclairée dans son entier en lumière blanche lors des mesures de sensibilité. La courbe des éclairements présente une nette discontinuité, délimitant deux branches distinctes. La première qui atteint l'horizontale après quelques minutes d'obscurité correspond à l'adaptation des cônes. La seconde qui ne parvient définitivement à l'horizontale qu'au bout de près de cinquante minutes correspond à celle des bâtonnets. L'échelle logarithmique des ordonnées montre que la sensibilité est alors près de 100.000 fois la sensibilité initiale.

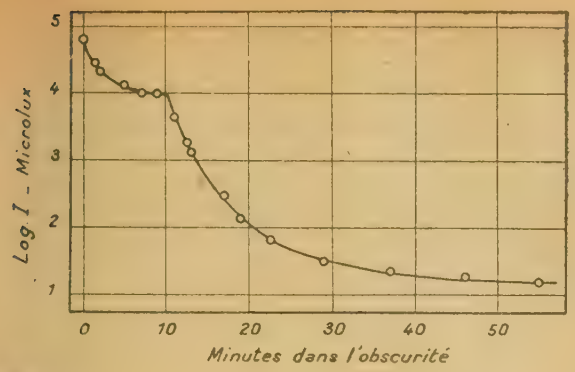


FIG. 2

Adaptation à l'obscurité de l'œil en son entier. Mesures de l'œil d'Engelmann prises par Piper (1903) Notez la présence de l'adaptation des cônes et plus tard celle des bâtonnets.

Ce temps de séjour prolongé à l'obscurité, nécessaire à la mise en jeu de la sensibilité maxima des bâtonnets, justifie les précautions prises pour soustraire le personnel de veille sur les passerelles à toutes lumières parasites. Lorsque l'œil est adapté à l'obscurité, tout éclairement accidentel émousse la sensibilité pour un temps d'autant plus long que cet éclairement accidentel a été plus durable. L'intensité de cet éclairement est moins nuisible que sa durée. Un modeste fanal dans le champ visuel pendant, disons, une dizaine de secondes affaiblit la sensibilité pour de nombreuses minutes. Au contraire la formidable clarté d'un éclair en temps d'orage peut n'émousser la sensibilité que pour quelques secondes. Donc, lorsque de nuit un éclairage est nécessaire pour une manœuvre quelconque sur le pont, il est instamment recommandé qu'il soit bref. Il peut même être répété au besoin toutes les minutes, par exemple, sans inconvénient. L'adaptation des deux yeux est d'ailleurs relativement indépendante l'une de l'autre. En cas d'éclairement accidentel la nuit il est avantageux de fermer un œil. Celui-ci aura ainsi conservé sa sensibilité.

La figure 3 montre la courbe d'adaptation à l'obscurité, la lumière d'essai étant de diverses couleurs. La courbe correspondant à la lumière rouge atteint rapidement l'horizontale. Elle traduit uniquement l'adaptation des cônes. Au contraire les courbes avec une lumière d'essai verte et bleue n'atteignent leur niveau stable qu'après trente minutes et plus et traduisent l'adaptation des bâtonnets. Une règle précise a été déduite de ce fait par Piéron : l'éclairage des cadrans des appareils de bord doit se faire en lumière rouge. De cette façon seuls les cô-

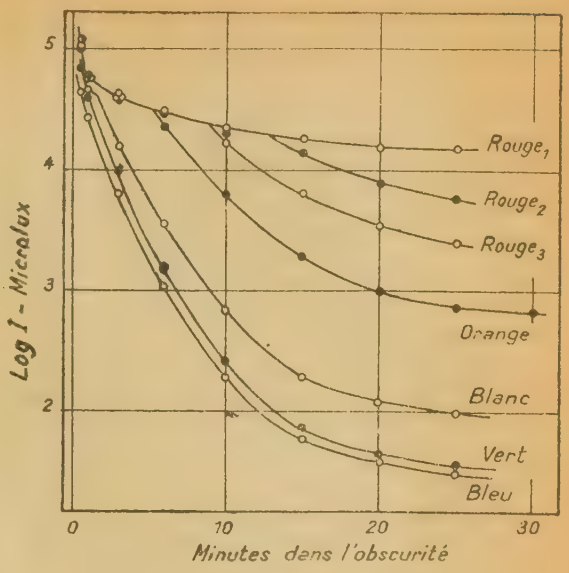


FIG. 3

L'adaptation à l'obscurité d'une aire de 1° de diamètre, située 5° au dessous de la fovea (Kohlrausch). Le rouge [1] est la seule couleur qui limite aux cônes les mensurations. Les deux autres rouges laissent passer plus de lumière orange, et témoignent d'une adaptation des bâtonnets. Avec la lumière bleue, l'adaptation des cônes est à peine évidente.

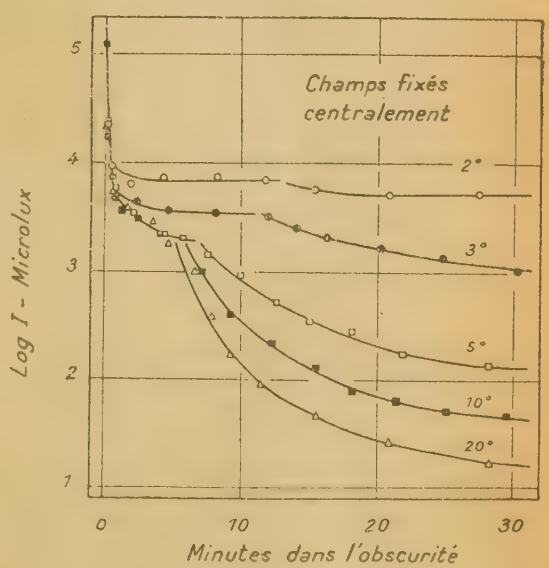


FIG. 4

Le seuil pendant l'adaptation à l'obscurité pour les aires fixées centralement dont les diamètres sont marqués avec les données. Plus grand est le champ, plus prompte à paraître la section secondaire des bâtonnets, et plus large la gamme d'intensités qu'elle couvre. Les données viennent d'Hecht, Haig et Wald (1935).

nes sont mis en jeu, les bâtonnets ne sont nullement affectés et conservent leur sensibilité maxima.

La figure 4 montre la courbe d'adaptation en fonction de la surface angulaire de la rétine couverte par la lumière d'essai. Les grandes sensibilités ne sont obtenues que lorsque la lumière frappe les régions périphériques de la rétine ce qui démontre que seuls les bâtonnets sont alors en cause. Ceci justifie l'observation de l'astronome Arago, citée par Broca [1] : à la limite de portée les feux lointains sont perçus en vision latérale, c'est-à-dire par les régions périphériques de la rétine et non pas lorsque l'œil est pointé dans leur direction. Ils forment en ce cas image sur la fovéa d'où les bâtonnets sont absents. L'éclairement de cette région est beaucoup trop faible pour actionner les cônes.

Alors que la sensibilité des cônes est sensiblement uniforme chez la plupart des individus il n'en est pas de même de la sensibilité des bâtonnets. On rencontre notamment des sujets totalement aveugles en faible éclairage, ils sont dits héméralopes. Leur courbe d'adaptation (fig. 5) est une courbe d'adaptation de cônes typiques. Leurs bâtonnets ne fonctionnent pas.

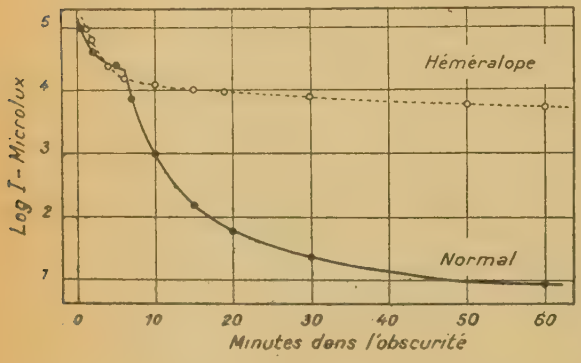


FIG. 5

Adaptation à l'obscurité d'un individu héméralope d'une façon permanente comparée avec la normale. Données de Dieter (1929). L'adaptation à l'obscurité de l'héméralope montre avec évidence seulement l'adaptation primaire des cônes.

D'ailleurs la sensibilité visuelle nocturne après séjour suffisant à l'obscurité varie beaucoup même parmi des individus normaux. La fig. 6 résume les résultats recueillis à mon laboratoire en 1939-40 sur près d'un millier de jeunes canonniers de la D.C.A. de Paris. L'éclairement minimum perceptible, mesuré à l'adaptomètre d'André Chevallier [3 4], par la surface d'un diaphragme varie de plus de un à cinquante en valeur relative.

On sait depuis les travaux de Wald [14] que la substance photosensible des bâtonnets, le pourpre rétinien, s'élabore à partir de la vitamine A. On améliore donc ou on maintient la sensibilité visuelle nocturne à un niveau satisfaisant par le moyen d'une alimentation riche en vitamine A. Cette prescription est actuellement suivie par toutes les marines et les aviations du monde.

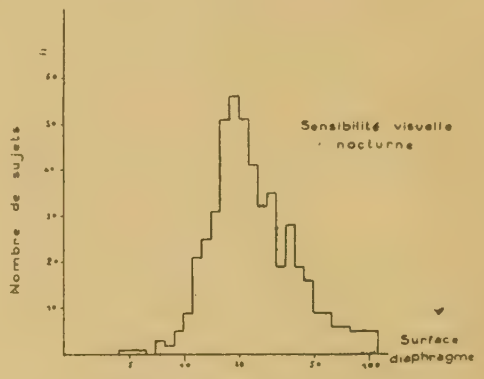


FIG. 6

b) La myopie crépusculaire. Avantage de sa correction.

J'ai dit plus haut que l'œil normal en vision diurne et regardant les objets lointains était « au point » pour les radiations jaunes. Lorsque l'éclairage décroît il n'en est plus de même. Les cônes, surtout sensibles au jaune, sont de moins en moins actionnés et peu à peu entrent en jeu des cônes surtout sensibles à des radiations plus courtes et finalement des bâtonnets exclusivement sensibles aux radiations bleues. Le maximum de sensibilité de l'œil se déplace aussi peu à peu vers les courtes longueurs d'ondes au fur et à mesure que l'éclairage baisse. C'est le phénomène décrit tout d'abord par Purkinje. Il a pour conséquence une myopie progressive. En effet, lorsque les bâtonnets sont seuls en jeu la longueur d'onde effective n'est plus celle pour laquelle l'œil est « au point », mais une longueur d'onde pour laquelle les milieux oculaires sont plus réfringents. L'œil est alors myope de près d'une dioptrie.

L'altération de la vision due à cette myopie est bien plus considérable que celle que provoquerait une myopie du même ordre en éclairage diurne. De nuit, en effet, la pupille est notablement dilatée. Son diamètre est souvent

doublé ou triplé puisqu'il atteint 8 mm et plus. Or, tous les photographes savent que le défaut de netteté dû à une mise au point incorrecte est d'autant plus grand que le diaphragme est plus ouvert. C'est la même chose ici ; avec cette circonstance aggravante que l'œil présente une aberration de sphéricité notable. Autrement dit les rayons éloignés de l'axe optique subissent une réfraction plus considérable que ceux voisins de l'axe. En conséquence, les rayons d'une source lointaine ne convergent plus en un point, mais se concentrent toutefois en un étroit faisceau situé en avant de la rétine. Un verre correcteur concave de 1,25 dioptrie, comme Y. Legrand l'a montré, à la fois corrige la myopie crépusculaire vraie et atténue les effets de l'aberration de sphéricité en amenant le point le plus étroit du faisceau dans le plan de la rétine.

Les sujets dont les yeux sont normaux ou rendus tels par le port habituel de verres correcteurs, constatent une amélioration notable de la netteté des objets lointains en vision nocturne quand ils munissent leurs yeux des verres concaves ci-dessus. S'ils portent habituellement des verres correcteurs, il suffit qu'il les remplacent par des verres dont la puissance est réduite de 1,25 dioptrie.

J'ai remarqué toutefois que les hypermétropes légers, qui souvent ignorent cette faible anomalie visuelle, ne retirent aucun bénéfice du port de verres correcteurs concaves en vision nocturne. En effet, ces sujets accommodent inconsciemment de façon permanente en vision diurne. La nuit ils se mettent au point en relâchant sans s'en douter leur accommodation.

J'ai constaté, en outre, que le port de verres concaves la nuit procure d'autres avantages, fort précieux, lorsque les lointains comportent de nombreux feux clairs comme dans les ports où se trouvent des quais illuminés et des bâtiments éclairés de multiples lampes. En effet, la nuit, à l'œil nu, un feu lointain, même une simple ampoule électrique ne se présente pas sous l'aspect d'un point brillant, mais bien sous l'aspect d'une étoile ornée d'aigrettes fort étendues. C'est une constatation fort générale, puisque, de tout temps, les peintres ont représenté les étoiles sous la forme d'une figure à plusieurs branches.

J'ai dessiné l'aspect sous lequel apparait un point lumineux à mon œil droit, normal d'ailleurs à tous égards (fig. 7). Les aigrettes occupent un champ considérable qui parait difficilement compatible avec l'acuité visuelle normale. J'ai donné l'explication de ce paradoxe.

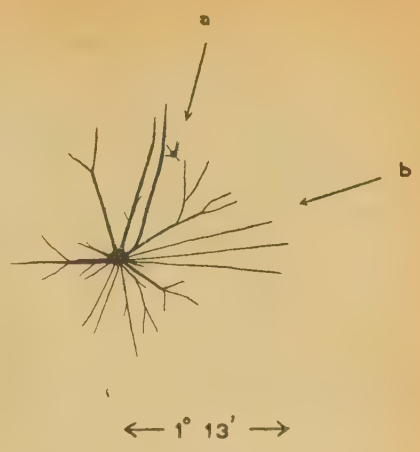


FIG. 7

Aspect que présente à mon œil droit ,une source ponctuelle brillante. Les images quasi ponctuelles *a* et *b*, données par une source de brillance convenablement atténuée, ont même éclat apparent que les aigrettes avoisinantes; d'où une mesure relative de l'éclairement rétinien réel produit par les aigrettes.

En réalité les aigrettes sont visibles la nuit car elles se détachent alors sur un fond obscur. Leur grand éclat n'est qu'apparent. En effet, j'ai mesuré avec un dispositif, qu'il est superflu de décrire, l'éclairement rétinien qui leur

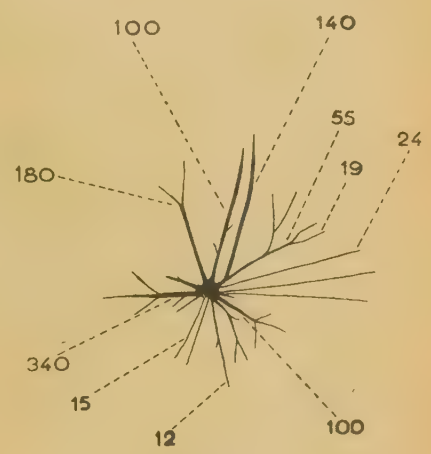


FIG. 8

Photométrie comparée des aigrettes. — Les chiffres indiquent les éclairements rétiniens réels produits par les aigrettes, exprimés en dix millième de l'éclairement dû à la région centrale de l'image.

correspond : il est relativement très faible, 1/100 à 1/1000 de l'éclairement de la tache centrale (fig. 8). C'est pourquoi de jour les aigrettes sont invisibles. De nuit elles sont gênantes, surtout si les feux sont nombreux. Elles forment alors une sorte de feutrage lu-

mineux qui nuit beaucoup à la vision des objets faiblement éclairés. Si on porte des verres concaves les aigrettes diminuent et s'estompent. La partie centrale augmente quelque peu et, de ce fait, son éclat devient bien plus supportable, tandis que les lointains obscurs deviennent nets (fig. 9).

FIG. 9

En haut, aspect étoilé sous lequel m'apparaît un feu brillant et éloigné, en vision monoculaire avec l'œil gauche (G) et l'œil droit (D), puis en vision binoculaire (B). On retrouve alors, dans l'image résultante, les aigrettes dues respectivement à mes deux yeux.

En bas, effet d'un verre divergent de 1,5 dioptrie. Les aigrettes diminuent en grandeur et en intensité, la région centrale brillante des images fait place à une tache plus étendue et d'éclat atténué. L'atténuation de l'éclat de cette région est figurée par des hachures.

En bas et à droite, index chiffrant l'étendue du champ visuel angulaire occupé par les aigrettes.

Les aigrettes sont attribuables à des discontinuités anatomiques du cristallin. Au point de vue optique, ces régions sont en fait d'étroits secteurs où l'aberration de sphéricité est plus considérable. De sorte que l'effacement des aigrettes s'explique précisément parce que, comme je l'ai rappelé plus haut, les verres concaves atténuent les effets de l'aberration de sphéricité. L'élargissement de la partie centrale de l'image s'explique évidemment par le fait que l'œil ainsi corrigé, s'il est désormais au point pour les objets faiblement éclairés, qui excitent surtout les bâtonnets, ne l'est plus pour les sources brillantes qui actionnent les cônes. Cela n'a aucun inconvénient, au contraire, puisque l'éclat de ces images se trouve atténué par suite de l'augmentation de leurs surfaces.

En outre, les verres concaves favorisent beaucoup la vision nocturne à travers une vitre, un pare-brise, souillés de poussières ou mouillés par la pluie ou les embruns. En effet, l'œil en état de myopie crépusculaire non corrigé n'est plus au point à l'infini mais bien à une distance inférieure au mètre, de l'ordre de la distance de l'observateur à la vitre, c'est-à-dire mis au point sur les souillures de celle-ci. De plus, si les gouttelettes de la vitre reflètent des sources lointaines brillantes, l'œil tendra, invinciblement, à accommoder sur ces gouttes lumineuses, et à faire converger les yeux sur celles-ci, ce qui rendra encore plus indistincts les lointains (fig. 10). Avec les verres concaves, les souillures de la vitre, qu'il s'agisse de poussières obscures ou de sources brillantes reflétées par elles, présentent des diamètres apparents tels qu'elles deviennent indistinctes ; tandis que ces verres apportent à la vision lointaine les avantages que j'ai indiqués (fig. 11). En fait l'automobiliste qui met ses verres concaves, au cours d'une randonnée nocturne, a nettement l'impression que son pare-brise vient d'être soudain nettoyé.

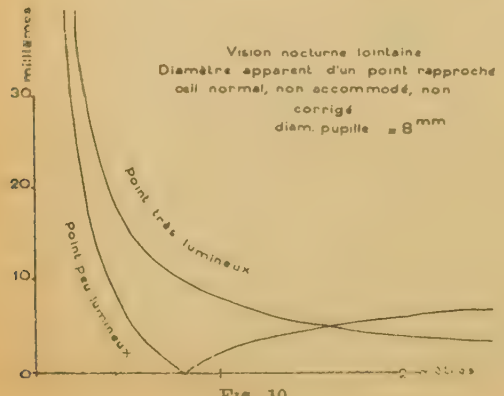


FIG. 10

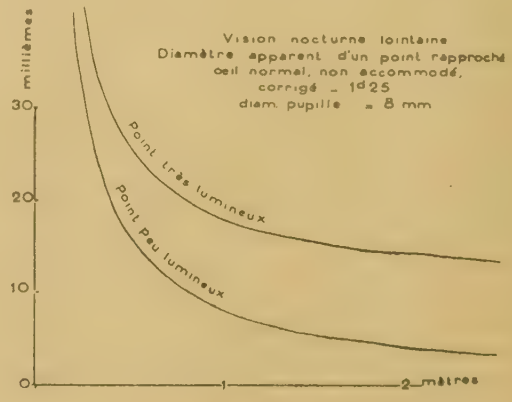


FIG. 11

c) La reconnaissance des feux.

La reconnaissance des feux de grand atterrissage est basée sur le nombre et la fréquence de leurs éclats. La durée de ceux-ci a été fixée

à quelques dixièmes de seconde, à la suite des recherches classiques de Blondel et Rey. Ces auteurs ont montré que des durées plus longues sont inutiles ; la perception d'une faible lumière, en effet, n'est pas accrue quand elle est davantage prolongée.

Mais ici je ne considèrerai que les feux à faible portée qui signalent les dangers et les balises, les feux des ports et des pistes d'aérodromes, les feux de route des navires. Ces feux sont le plus souvent colorés. Leur identification exacte exige donc des observateurs capables d'apprécier correctement les couleurs. C'est pourquoi les individus daltoniens sont rigoureusement exclus du personnel de veille. Mais les types de daltonisme sont multiples et de degrés très divers, de sorte que le pourcentage des individus éliminés pour ce fait varie notablement selon les épreuves utilisées pour cette sélection. Un facteur susceptible d'influer notablement sur les résultats de ces épreuves semble bien être l'éclat des tests lumineux colorés qui sont soumis au jugement des candidats.

Un daltonien léger, qui différenciera malaisément, par exemple, deux feux vert et rouge peu lumineux, en fera, au contraire, aisément la distinction s'ils sont intenses. Il est donc en tous points avantageux d'accroître l'éclat des feux colorés. On est souvent limité dans cette voie par des questions pratiques. Mais la physiologie indique un artifice qui permet d'accroître gratuitement et de façon considérable l'éclat apparent d'un feu : c'est l'occultation

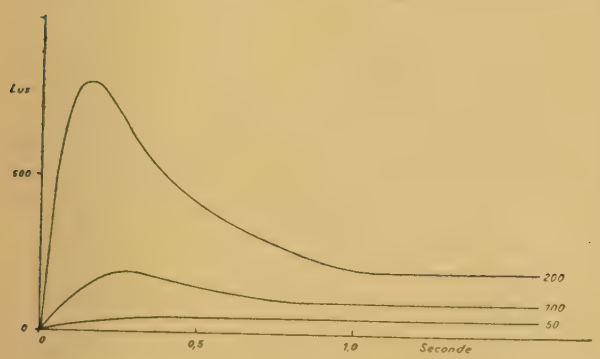


Fig 12

FIG. 12

Eclairement apparent d'un écran illuminé de façon intermittente (d'après Broca). Pour des éclairements réels faibles et moyens (< 50 lux) l'éclairement apparent croît avec la durée d'éclairage pour atteindre son niveau définitif en une demi-seconde. Mais pour des éclairements réels forts (> à 100 lux) l'éclairement apparent passe par un maximum très supérieur à son niveau définitif pour de brèves durées d'éclairage.

périodique. Broca et Sulzer [2] ont, en effet, montré (fig. 12) qu'un écran illuminé de façon intermittente peut apparaître, si l'éclairage est assez fort, d'un éclairement 5 à 10 fois supérieur à son éclairement réel. C'est d'ailleurs une observation familière : un phare d'automobile qui soudain troue la nuit paraît, de prime abord, bien plus éclatant que par la suite. Si on occulte périodiquement le phare, par exemple, de deux en deux secondes, celui-ci paraîtra être d'une intensité bien plus grande.

C'est sans doute en raison de ce grand éclat apparent des feux périodiques que ceux-ci sont actuellement en usage dans l'aviation. Les avions sont notamment munis de feux de route clignotants. On conçoit, en effet, que cet artifice présente ici tout son avantage, car il facilite la prompte identification des feux, toujours impérieusement nécessaire en vol.

d) Les jumelles de nuit.

La vision nocturne requiert, évidemment, que le flux lumineux, qui pénètre dans les yeux à la suite d'une jumelle, soit maximum. Or, la nuit, les pupilles sont dilatées. Il importe donc que les faisceaux de rayons issus des jumelles soit aussi larges que les pupilles. Or, les jumelles à prismes, utilisées de jour, ont, pour des raisons imposées par leurs caractéristiques (grossissement élevé, champ étendu, etc...), un faisceau de sortie particulièrement étroit (2 à 4 mm de diamètre). Ceci n'a pas d'inconvénient de jour, les pupilles ayant alors précisément un diamètre de cet ordre. Mais, la nuit, à travers de tels instruments, le paysage paraît beaucoup plus sombre qu'à l'œil nu, car celui-ci bénéficie alors d'une pupille considérablement élargie (7 à 8 mm et plus). En conséquence on s'attache à obtenir, dans les jumelles utilisées la nuit, de larges faisceaux de sortie. Cette condition est d'ailleurs fort bien satisfaite dans les anciennes jumelles, munies de deux lunettes de Galilée. Celles-ci en dépit de leur champ étroit et de leur faible grossissement donnent au paysage nocturne une clarté remarquable.

L'emploi de jumelles la nuit ne présente d'ailleurs que des avantages. L'observateur ajuste alors ses jumelles évidemment de façon à obtenir la vision la plus distincte. Il les règle donc sans s'en douter de manière à compenser la myopie dont j'ai longuement parlé plus haut. Il se trouve ainsi automatiquement dans la situation d'un individu porteur des verres correcteurs concaves, ce qui lui procure les mêmes avantages.

IV. — CONCLUSIONS

Bien d'autres problèmes visuels présentent de l'intérêt pour les navigateurs. La liste n'en est pas close, pas plus que la Physiologie de la vision n'est une science terminée. Au contraire c'est une des branches les plus actives de la Physiologie. Je suis certain et ce sera la conclusion de cette conférence, qu'elle bénéficiera largement des travaux et des observations des navigateurs.

BIBLIOGRAPHIE

1. Broca A., Polack A. — Vision des petites sources colorées (application à la reconnaissance des feux réglementaires de la marine). *J. Physiol. Pathol. gén.* 1908, *10*, 66.

2. Broca A., Suzler M. — La sensation lumineuse en fonction du temps. *J. de Physiol. et Path. gén.*, 1902, *4*, 632.

3. — Chevallier A., Roux H. — Sur la mesure de la sensibilité rétinienne au seuil. *C. R. Soc. Biol.* 1939, *130*, 1279.

4. — Chevallier A., Roux H. — Sur un dispositif permettant la mesure de la sensibilité rétinienne au seuil. *C. R. Soc. Biol.*, 1938, *128*, 231.

5. Granit R. — *Sensory mechanism of the retina.* Oxford. University press, 1947.

6. Granit R. — Isolation of colour-sensitive elements in a mammalian retina. *Acta Physiol. Scand.* 1941, *2*, 93 *bis*.

7. Hecht S. — La base chimique et structurale de la vision. Hermann, Paris 1938.

8. Lapicque Ch. — L'optique de l'œil et la vision des contours. *Thèse-Revue d'optique théorique et instrumentale.* Paris, 1938.

9. Legrand Y. — Essai sur la diffusion de la lumière dans l'œil. *Thèse-Revue d'optique théorique et instrumentale.* Paris, 1937.

10. Legrand Y. — Sur la mise au point de l'œil en vision nocturne. *C. R. Acad. Sc.* 1942, *224*, 683.

11. Parinaud H. — *La vision.* Octave Doin, Paris, 1898.

12. Polack A. — La dispersion des couleurs dans l'œil et son rôle dans l'art pictural. La vision des couleurs et l'art pictural. 4e *réunion de l'Inst. d'Optique*, 1935, 3-10. (6e année).

13. Polack A. — Le chromatisme de l'œil. *Bull. Soc. d'Opht. de Paris*, 1923, n° 9 *bis*, 401.

14. Wald G., Clark A. B. — Visual adaptation and chemistry of the rods. *J. gen. Physiol.*, 1937, *21*, 93.

GÉOLOGIE DE LA PALESTINE

(Etat d'Israël)

par Raymond FURON

La Palestine, séparée de la Transjordanie par la vallée du Jourdain, se divise en trois zones naturelles, parallèles, alignées Nord-Sud.

Vers l'Ouest, c'est la *plaine côtière* qui longe la Méditerranée. Elle est large d'une trentaine de kilomètres et son altitude s'élève de l'Ouest vers l'Est de 0 à 300 mètres. Elle porte des noms divers : plaine des Philistins ou de Judée dans le Sud (région de Gaza), plaine de Sharon entre Tel Aviv et le mont Carmel, plaine d'Acre au nord du mont Carmel (Haïffa).

A l'est de la plaine côtière se trouve une *zone de plateaux* et de collines dont l'altitude maxima est de 1.300 mètres. Cette zone élevée se trouve découpée en massifs plus ou moins isolés par l'érosion. Du Nord au Sud, on trouve ainsi : les collines de Galilée (1.300 m), les collines de Samarie et de Judée (1.100 m). Le plateau de Judée est séparé de celui du Negeb (550 m) par la vallée de Beersheba.

Plus à l'Est encore, on arrive au *fossé de la Mer Morte*, qui sépare les plateaux de Palestine de ceux de la Transjordanie. C'est un fossé de 5 à 20 km de largeur, limité par des failles et des falaises plus ou moins érodées, et dont le fond est parfois à 430 mètres au-dessous du niveau de la Méditerranée. C'est dans ce fossé que se trouve la mer Morte, qui reçoit le Jourdain, venu du Nord, après avoir traversé le lac de Tibériade (-230 m). D'autres cours d'eau viennent du Sud, par la vallée de l'ouadi Araba. Un seuil sépare ce bas-fond du golfe d'Aqaba, pointe avancée de la Mer Rouge.

CONSTITUTION GEOLOGIQUE

Géologiquement, le territoire d'Israël se trouve à l'extrémité Nord-Est du continent africain, en bordure du massif arabo-nubien qui n'a été brisé que tardivement lors de l'effondrement du fossé de la Mer Rouge.

C'est par la Palestine que la Méditerranée eurafricaine communiquait avec les mers indo-iraniennes, *via* la Syrie et l'Irak. C'est par la Palestine que sont venues des espèces marines de l'Inde qui sont allées peupler le Sahara et le golfe de Guinée au Crétacé et au Tertiaire. C'est encore par la Palestine que sont passées des faunes terrestres se rendant d'Asie en Afrique et réciproquement.

La reconnaissance géologique de la Palestine a débuté il y a bien longtemps mais ce n'est qu'au XIX^{e} siècle qu'elle a pris de l'importance. Nous en retiendrons deux grandes missions : l'expédition américaine, dirigée par W. F. Lynch (géologie par T. A. Conrad, 1852), et l'expédition française, dirigée par le duc de Luynes (géologie par L. Lartet, 1869 à 1877).

A partir de 1890, les travaux de M. Blanckenhorn ont apporté beaucoup de précisions ; depuis 1930, ceux de L. Picard, de l'Université de Jérusalem, et ceux de G. S. Blake, pour ne citer que les plus importants. La géologie de la Palestine est maintenant bien connue dans ses grandes lignes et une bonne carte au 1/250.000^{e} a été publiée au cours de ces dernières années.

PRECAMBRIEN

Les terrains les plus anciens du bouclier arabo-nubien sont divisés en trois groupes : *Protarchéen* (granites et schistes cristallins), *Métarchéen* (schistes, quartzites, paragneiss et venues granitiques), *Eparchéen* (conglomérats, grès, éruptions volcaniques).

Ce Précambrien n'apparaît en Palestine qu'à la faveur des grandes cassures qui l'ont ramené à la surface en bordure du fossé de l'ouadi Arabah, jusqu'aux environs de la mer Morte (ouadi Saramudj, rive transjordanienne).

C'est précisément dans l'ouadi Saramudj que l'on peut observer le Précambrien terminal, composé de conglomérats, de grès feldspathiques et de grauwackes, traversés par des dykes de rhyolithes. Les couches sont légèrement plissées, non métamorphiques. Elles ont peut-être été plissées plusieurs fois car à leur contact, les grès cambriens sont également froissés.

PRIMAIRE

Le Primaire affleure en quelques points, en bordure des grandes failles limitant le fossé du Jourdain.

Cambrien. — Le Cambrien marin, représenté par des calcaires noirs à Brachiopodes (*Obolus*) et à Trilobites (*Protolenus orientalis* Picard est daté du Géorgien supérieur ou de l'Acadien inférieur. Il repose sur une trentaine de mètres de grès rouge et de conglomérats, discordants sur le socle précambrien.

On en connaît actuellement trois gisements: deux sur la rive transjordanienne de la mer Morte, sur l'ouadi Zerka Main (avec *Anomocare Campbelli* King, et *Hyolithes fuchouensis* E. et R. var. *Moabiticus* Picard et sur l'ouadi Saramudj, plus au Sud, au S.-E. de la mer Morte ; le troisième, en territoire d'Israël, tout au Sud de l'ouadi Araba, sur l'ouadi Meneiaieh [5] [6].

Carbonifère. — Sur la bordure occidentale de l'ouadi Araba, le Cambrien est surmonté localement de calcaires rouges non fossilifères et de grès ferrugineux et manganésifères. Ce peut être la suite du Carbonifère du Sinaï qui présente les mêmes caractères. Ni le fer, ni le manganèse ne sont exploitables.

Ces grès représenteraient la base des « grès de Nubie ».

SECONDAIRE

Trias. — La mer triasique est venue recouvrir la Palestine. On en retrouve les traces en quelques points [7].

L'affleurement le plus important se trouve sur la rive transjordanienne de la mer Morte, à l'embouchure de l'ouadi Zerka Main. Ici, les calcaires cambriens sont recouverts par 75 mètres de grès micacés et de schistes rouges contenant *Pseudomonotis aurita* Hauer, *Myophoria lævigata* Zieten, suivis de 15 mètres de schistes pourpres et de grès jaunes à *Lingula tenuissima* Bronn. et *Pseudomonotis aurita* Hauer, niveau werfénien.

Un niveau supérieur est représenté par 80 mètres de calcaires à *Coenothyris vulgaris* Schloth., *Gervillia Bouei* Hauer et *Myophoricardium lineatum* W.

D'autres affleurements se trouvent dans le Sud de la Palestine, dans le Negeb. Dans l'anticlinal faillé du Raman, le Trias a plus de 400 mètres de puissance : grès à Lingules, basaltes, calcaires à *Ceratites, Myophoria, Gervillia,* surmontés de 150 mètres de marnes à bancs de gypse.

Jurassique. — Le Jurassique se trouve aux mêmes points que le Trias. Dans les gorges de l'ouadi Zerka Main (rive orientale de la mer Morte), il existe des calcaires gréseux, parfois colithiques, d'âge bajocien-bathonien à *Terebratula semiplicata* et *Lobothyris ventricosa* [8].

Dans le Sud palestinien, dans le Negeb, le Jurassique affleure au milieu de quelques anticlinaux, au Raman et un peu plus au Nord, dans l'ouadi Hathira. En ce dernier point, il y a 200 mètres de marno-calcaires et de calcaires massifs. A 60 mètres au-dessus de la base, il existe un niveau fossilifère du Jurassique supérieur (Oxfordien-Kimmeridgien) à *Somalirhynchia africana* Weir, *Apiocrinus* sp., *Liostrea* sp., *Nautilus giganteus,* etc.

Infracrétacé continental. — On trouve toujours au-dessous du Crétacé marin une série de grès et d'argiles d'origine continentale. Dans le Negeb en particulier, ces grès reposent sur le Jurassique visible, par l'intermédiaire d'une nappe de basalte (dans le Raman) et d'une croûte ferrugineuse dans l'ouadi Hathira. En ces deux points, il s'agit de 200 mètres de grès et d'argiles gypsifères contenant des Bois fossiles et des lignites.

C'est le niveau des grès de Nubie de l'Egypte à *Dadoxylon* et *Weichselia* correspondant à un paysage de dunes, avec oasis, climat chaud et sec, avec violents orages.

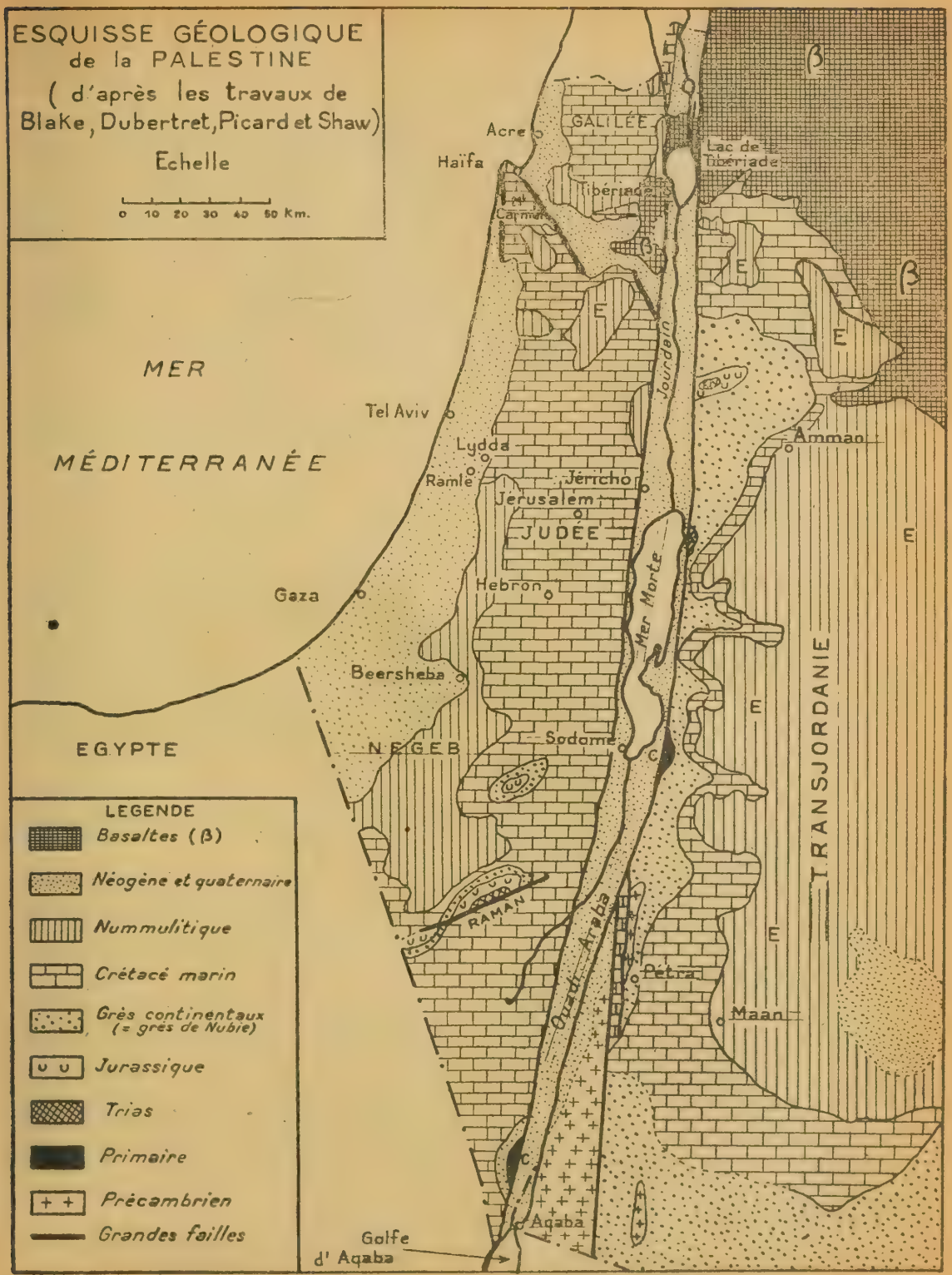
Dans l'ouadi Araba, les grès de Nubie sont minéralisés par des sels de cuivre. Ces minerais pauvres ont été exploités dans l'antiquité et traités dans les fonderies du roi Salomon, près du port d'Aqaba.

Crétacé marin. — La bordure du continent s'affaisse et quelques ondulations affectent localement les grès infracrétacés. La première transgression marine crétacée en Palestine est datée de l'Aptien.

L'ensemble des dépôts crétacés atteint et dépasse 1.000 mètres en Judée.

L'Aptien paraît limité à la Galilée et à la Judée. où l'on connaît des calcaires à *Cerithium acutecostatum* Bl., *Nerinella Schicki* Fraas et *Pterodonta Germeri* Bl. Il continue sur le terrain au Liban et en Transjordanie.

L'Albien s'est étalé plus largement. Au Nord de Jérusalem, il est représenté par un niveau à *Knemiceras syriacum* von Buch, *Protecanthoceras angoliense* Spath, et *Pholadomya Vignesi.* Au Sud, l'Albien (?) à *Knemiceras compressum* Hyatt, affleure dans l'ouadi Hathira, au-dessus de l'Infracrétacé continental. Il est surmonté par 150 mètres de grès et d'argiles sans fossiles.


ESQUISSE GÉOLOGIQUE
de la PALESTINE
(d'après les travaux de
Blake, Dubertret, Picard et Shaw)
Echelle
0 10 20 30 40 50 Km.
MER
MÉDITERRANÉE
EGYPTE
Acre
Haïfa
GALILÉE
Lac de Tibériade
Tibériade
Mt Carmel
Tel Aviv
Lydda
Ramle
Jéricho
Jerusalem
JUDÉE
Gaza
Hebron
Mer Morte
Jourdain
Beersheba
NEGEB
Sodome
RAMAN
Oued Araba
Pétra
Maan
Ammao
TRANSJORDANIE
Aqaba
Golfe d' Aqaba
LEGENDE
Basaltes (β)
Néogène et quaternaire
Nummulitique
Crétacé marin
Grès continentaux (= grès de Nubie)
Jurassique
Trias
Primaire
Précambrien
Grandes failles

Le Cénomanien, encore plus largement transgressif, s'étend sur toute la Palestine et une partie de la Transjordanie. Son épaisseur dépasse 350 mètres. Il est souvent constitué par des calcaires dolomitiques et contient une faune abondante : *Exogyra columba* Lmk, *Ex. flabellata* Goldf., *Ex. africana* Lmk, *Strombus incertus* d'Orb., *Nerinea cretacea* Conrad, *Heterodiadema libycum* Desor, *Hemiaster syriacus* Conrad, *Acanthoceras palestinense* Blanck, *Ac. Mantelli* Schl., *Ac. judaica* Taub., *Ac. Newboldi* Kossm., *Neolobites Peroni* Hyatt.

Vers le sommet, apparaissent *Exogyra olisiponensis* Sh. et des Rudistes.

Le passage au Turonien est difficile à préciser. On se trouve en présence de calcaires à Rudistes, calcaires récifaux déposés au voisinage de volcans. La faune comporte *Exogyra olisiponensis* Sh., *Eoradiolites liratus* Conrad, *Radiolites lusitanicus* Bayle.

Le Turonien vrai, plus marneux contient quelques Ammonites appartenant aux genres *Leoniceras* et *Thomasites*, quelques Nérinées (*Nerinea Requieni* d'Orb.)

Le Sénonien est complet, puissant de 200 mètres et plus.

Il contient trois niveaux bitumineux en Judée, particulièrement à Nebi Musa. Il recèle également des niveaux phosphatés entre Jérusalem et Amman (Transjordanie) dont la teneur augmente de l'Ouest vers l'Est.

Ces niveaux phosphatés ont été retrouvés dans le Sud.

Le Sénonien inférieur est représenté par un calcaire à marbrures roses peu fossilifère (*Mortoniceras* (*Texanites*) *texanum* Rœmer, *Gosavia Elleryi* Conrad).

Le Campanien montre une craie compacte brune, riche en fossiles. Le gisement du mont des Oliviers est classique, avec *Hoplitoplacenticeras Vari* Sch., *Callistina judaica* Picard, *Protocardia moabitica* Lartet, *Turritella Reyi* Lartet, *Mesosaccella Larteti* Chavan, *Mes. Grovei* Lartet, *Mes. perdita* Conrad (formant le banc dit à *Leda*). La zone bitumineuse inférieure est campanienne [10].

Le Maestrichtien est formé par des calcaires à bancs de silex, à *Libycoceras Ismaeli* Zittel, *Baculites palestinensis* Picard, *Turritella Maussi* Lartet, *Dentalium alternans* Müller, *Pecten obrutus* Conrad.

Le Maestrichtien est phosphaté et contient un second niveau bitumineux à Nebi Musa.

Le Danien est beaucoup plus difficile à préciser. En bien des régions, il n'y a pas de discordance entre le Crétacé supérieur et l'Eocène, et les fossiles sont rares, peu caractéristiques.

En Judée, le Danien débuterait par le troisième niveau bitumineux et se terminerait par un épisode régressif avec calcaires et argiles bariolées contenant du gypse, du sel, des phosphates, de la magnésie, des traces de potassium, de chrome et de vanadium. Les fossiles sont rares : un Poisson (*Notidanus* cf. *microdon* Ag.), un Pélécypode (*Pecten obrutus* Conrad) et des Foraminifères. Parmi ceux-ci, se trouvent des *Globotruncana* et des *Gümbelina* de grande taille et vigoureusement ornées, qui ne montent pas dans l'Eocène [11].

Dans le Sud, le passage du Crétacé à l'Eocène se fait par des marnes grises rappelant le faciès des *Esna Shales* d'Egypte.

TERTIAIRE

Le Paléocène ne peut être déterminé que d'après les microforaminifères. Les *Globorotalia* et *Gümbelina* de grande taille ont disparu pour faire place à des *Globorotalia* du groupe *simulatilis* Schw. et *velascoensis* Cushman, accompagnant de grandes Globigérines (*Gl. bulloides* d'Orb., etc), plus grandes et plus abondantes que dans le Danien. Les *Globorotalia* persistent jusque dans l'Yprésien, mais elles y deviennent très rares [11].

Les faciès de l'Eocène inférieur sont encore semblables à ceux du Crétacé supérieur, calcaires avec silex.

On connaît une bonne coupe au Sud-Est du mont Carmel, où le Nummulitique forme un large synclinal compris entre le Crétacé du mont Carmel et celui d'Ulm-el-Fahm. La puissance totale de la série atteint 2.000 mètres [16].

L'Eocène inférieur doit être représenté par 400 mètres de calcaires riches en bancs siliceux, visibles dans l'ouadi el Milh.

Le Lutétien inférieur, calcaréo-siliceux, mesure également 400 mètres d'épaisseur, près de Qira. Il contient *Nummulites globulus* Leym., *N. Guettardi* d'Arch., *N. irregularis* Desh., *N. gallensis* B. et A. Heim, *Orthophragmina* sp.

Sur cette série, reposent 600 m de calcaires gris à empreintes de Ptéropodes, puis 300 m de calcaires crayeux sans fossiles.

Viennent ensuite 100 m de calcaires dolomitiques à bancs de silex, contenant une faune du Lutétien supérieur, avec *Nummulites gizehensis* Forsk., *N. curvispira* Meneg.

On trouve ensuite les traces de mouvements tectoniques post-lutétiens, marqués par l'absence fréquente d'Eocène supérieur et la superposition directe d'un Oligocène transgressif à *Nummulites Boucheri* de la Harpe accompagnée de Lépidocyclines (*Nephrolepidina simplex* Douv., *N. Tournoueri* Lem. et Douv., *Eulepidina dilatata* Mich.).

L'Eocène supérieur existe localement. Il serait représenté à la base des couches de Beit Jibrin par des niveaux à *Globigerinoides triloba* Reuss abondante et de grande taille, avec de minuscules *Gümbelina*. Les couches supérieures de Beit Jibrin sont oligocènes et contiennent *Elphidium macellum* F. et M., *Globigerinoides rubra* d'Orb., qui passent dans le Miocène.

La phrase tectonique post-lutétienne a les mêmes caractères qu'en Afrique du Nord.

Miocène. — L'Aquitanien est représenté par les couches supérieures à Lépidocyclines (en particulier *Eulepidina elephantina*) ne contenant plus de Nummulites, avec *Cycloclypeus Eidæ* T.S.H., et *Rotalia Viennoti* Greig, à Ramleh [17].

Des mouvements orogéniques et épirogéniques se produisent vers cette époque. La mer qui ne recouvrait déjà plus toute la Palestine, se retire complètement et il n'existe pas trace de Burdigalien, non plus qu'au Liban.

Le Burdigalien inférieur est une époque de plissement et de fractures accompagnées de quelques phénomènes volcaniques.

La mer vindobonienne est revenue dans la plaine côtière. On en trouve les dépôts jusqu'à la cote 500 au pied des monts de Judée. Ce sont des conglomérats et des grès à ciment calcaire, avec des Coraux et des Algues.

On passe insensiblement au Pliocène, dont les golfes occupent les mêmes emplacements. Dans le Sud, on distingue des argiles bleues à *Arca Diluvii* Lmk, *Leda fragilis* Chemn., *Corbula gibba* F., sur une centaine de mètres d'épaisseur, puis des conglomérats et des grès à *Pecten pes felis* L., *Flabellipecten flabelliformis* Brocchi, *Pecten scabrellus* Lmk var. *bollenensis* M.-E., *Tellina nitida* Poli, *Ostrea edulis* Lmk.

Vers la fin du Pliocène, les golfes deviennent des lagunes aux eaux saumâtres, à dépôts de gypse. Dans la vallée du Jourdain, des dépôts d'eau douce contiennent *Melanopsis Noetlingi* Bourg., *M. Aaronsohni* Blanck., *Melania tuberculata* Müller, *Dreissensia* sp., *Theodoxus Jordani* Sow., *Vivipara unicolor* Oliv.

A la fin du Pliocène, les grandes failles de toute cette région rejouent de la Syrie à la mer Rouge, donnant au pays à peu près son aspect actuel. D'énormes venues basaltiques recouvrent le Djebel Druze et atteignent le Nord de la Palestine.

QUATERNAIRE

Le Quaternaire continental est bien développé dans le fossé de la mer Rouge.

Au Pléistocène inférieur correspond la « série de Samra » : 25 m de conglomérats fluviatiles surmontés de grès calcaires et de calcaires oolithiques lacustres avec Hydrobies, Planorbes et Mélanies. Ces couches existent depuis la Galilée jusque dans l'ouadi Araba.

Ici intervient une nouvelle phase de diastrophisme : failles et émissions basaltiques.

Le Pléistocène supérieur est représenté par la « série de Lisan » : 150 m de marnes et d'argiles gypsifères, bien développées au Sud de la mer Morte, avec quelques intercalations de cailloutis fluviatiles. C'est l'époque du plus grand lac quaternaire de la Palestine.

Au Pléistocène tout à fait supérieur, les lacs vont diminuer de superficie. Le Jourdain va prendre naissance et creuser sa vallée dans les dépôts de Lisan.

La mer Morte s'organise, profonde de près de 400 mètres dans sa partie Nord, accumulant de grandes quantités de sels divers, 6 ou 7 fois plus qu'il n'en existe dans l'eau de mer. Les eaux de la mer Morte contiennent 300 grammes de sels par litre, dont 15 grammes de chlorure de potassium, 84 de chlorure de sodium et 163 de chlorure de magnésium.

Le volume total des eaux de la mer Morte est estimé à 159 kilomètres cubes, ce qui représente 2 milliards de tonnes de chlorure de potassium, 11 de chlorure de sodium, 22 de chlorure de magnésium, 1 de bromure de magnésium. Cette richesse énorme est en cours d'exploitation et des usines sont installées au Nord de la mer Morte.

Les grandes failles ont un rejet qui dépasse 1.000 mètres (1.200 mètres au Raman par exemple, ramenant le Trias au niveau du Crétacé supérieur). Ces failles ont rejoué au Quaternaire et il existe des failles récentes ayant recoupé le Plio-Quaternaire de l'ouadi Araba. Entres autres, une faille située au Nord d'Ein-ed-Dafiya, longue de 15 km, découverte sur

une photo aérienne, montre un rejet de 18 mètres, formant une petite falaise d'alluvions consolidées. Au Djebel el Khureij, du Crétacé supérieur à pendage W est faillé et amené au contact du Quaternaire.

Des sources thermales existent aux environs du lac de Tibériade, témoignage et reliques de l'activité volcanique plio-quaternaire.

Les séismes sont fréquents, 200 tremblements de terre désastreux ont été enregistrés depuis 3.500 ans. L'un des derniers, celui du 11 juillet 1927, a violemment secoué tout le plateau palestinien, du mont des Oliviers à Beersheba. Le choc a été ressenti en Transjordanie, à Amman, avec moins de violence. Par contre, il a été très peu ressenti dans le fossé de la mer Morte, où les dégâts ont été insignifiants. On peut se demander, dès lors, s'il existe vraiment un rapport entre les failles du fossé du Jourdain et les séismes.

R. Furon.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

1. G. S. Blake et M. J. Goldschmidt. *Geology and Water Resources of Palestine.* Un vol., Jérusalem, 1947.

2. L. Dubertret. *Carte géologique du Moyen-Orient* (1/2.000.000). 1942.

3. L. Picard. *Structure and evolution of Palestine. Bull. Geol. Dep. Hebrew Univ.*, Jérusalem, 1943, v. 4, 134 pages.

4. G. S. Blake et S. H. Shaw. *Geological Map of Palestine* (1/250.000). 1939-1947.

5. W. B. R. King. *Cambrian fossils from the Dead Sea. Geol. Mag.*, 1923, v. 60.

6. L. Picard. *New Cambrian fossils and palaeozoic problematica from the Dead Sea and Arabia. Bull. Geol. Dep. Hebrew Univ.*, 1942, v. 1, pp. 1-19.

7. L. R. Cox. *A triassic Fauna from the Jordan Valley. Ann. Mag. Nat. Hist.*, 1924 (9), t. 14, pp. 52-93. *Further Notes on the Transjordan Trias. Ibid*, 1932 (10), t. 10, pp. 93-113.

8. L. R. Cox. *A Bajocian-Bathonian outcrop in the Jordan Valley and its molluscan Remains. Ann. Mag. Nat. Hist.*, 1925 (9), t. 15, pp. 169 et s.

9. L. Picard. *Geological Researches in the Judean Desert.* 1931.

10. A. Chavan. *La faune campanienne du Mont des Oliviers*, d'après les matériaux Vignal-Massé. *J. Conchyl.*, 1947, v. 87, pp. 125-197.

11. F. R. S. Henson. *Stratigraphical correlation by small Foraminifera in Palestine and adjoining countries. Geol. Mag.*, 1938, t. 75, pp. 227-233.

12. M. Avnimelech, L. Doncieux, L. Picard. *Sur la découverte d'une série nummulitique au S.-E. du Mont Carmel en Palestine. C. R. Soc. Géol. Fr.*, 1936, p. 41.

13. L. Picard et P. Solomonica. *On the geology of the Gaza-Beersheba District. Bull. Geol. Dep. Hebrew Univ.*, 1936, v. I, n° 2.

14. M. Blanckenhorn. *Die fossilen Gastropoden und Scaphopoden der Kreide von Syrien-Palästina. Palaeontographica.* 1927, t. 69, pp. 111-186. *Die Bivalven. Ibid.*, 1934, t. 81, pp. 161-302.

15. M. Avnimelech, L. Doncieux, L. Picard. *Sur la découverte d'une série nummulitique au S.-E. du Mont Carmel en Palestine. C. R. Soc. Géol. Fr.*, 1936, p. 41.

16. F. R. S. Henson. *Les grands Foraminifères de l'Oligocène de Palestine. C. R. Ac. Sc.*, 1936, t. 202, p. 861.

17. B. Willis. *Dead Sea Problem. rift valley or ramp valley ? Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1928, v. 39, pp. 490-542.

18. H. Taubenhaus. *Die Ammoneen der Kreideformation Palästinas und Syriens. Z. d. Palästinas-Verein*, 1920, b. 43, pp. 1-57.

19. A. Reifenberg. *The soils of Palestine.* Londres, 1938.

20. W. C. Lowdermilk. *Palestine, Land of Promise.* Londres et New York, 1944.

bibliographie

DE BROGLIE (Louis). — Mécanique ondulatoire du photon et théorie quantique des champs. 1 vol. 208 p., Paris 1949. Gauthier-Villars, édit. Prix : 2.500 fr.

La mécanique ondulatoire développée à la suite de la thèse de M. Louis de Broglie, en 1924, avait un double programme : d'une part, obtenir une représentation convenable de l'évolution des corpuscules ou des systèmes de corpuscules matériels, pour lesquels l'application de la mécanique ponctuelle classique conduisait à des difficultés dans le domaine microscopique ; d'autre part, interpréter simultanément les propriétés corpusculaire et ondulatoire de la lumière et notamment les caractères de polarisation de l'onde lumineuse.

Alors que la première partie de ce programme, à la suite des travaux de MM. Louis de Broglie, Schrödinger, Pauli, Dirac n'a pas rencontré de difficultés particulières, il n'en a pas été de même de la seconde et l'explication cohérente des phénomènes associés à la propagation des ondes électromagnétiques a rencontré et rencontre encore de grandes difficultés. Aujourd'hui deux grandes théories sont en présence : la théorie quantique des champs issus des travaux de Dirac, de Jordan, de Pauli, de Heisenberg qui s'attache essentiellement à la description de l'aspect statistique des interactions électromagnétiques, et la théorie du photon de M. Louis de Broglie qui insiste particulièrement sur l'aspect corpusculaire de la lumière.

Prenant pour guide le formalisme introduit par Dirac pour représenter l'électron d'une façon qui semble correcte du point de vue de la relativité et en rapprochant la polarisation circulaire des ondes lumineuses de la notion de spin corpusculaire, M. L. de Broglie a édifié, de 1934 à aujourd'hui, une très belle théorie qu'il a appelé théorie du photon et développé dans plusieurs ouvrages, notamment : « Une nouvelle théorie de la lumière » (Paris, Hermann, T. I et 2, 1940, 1942), et « Théorie générale des particules à spin » (Paris, Gauthier-Villars, 1943). Aujourd'hui, M. L. de Broglie approfondit et complète les résultats établis dans ces ouvrages, en donnant parallèlement un exposé de la théorie quantique des champs suivant le formalisme de W. Heitler, et de M. G. Wentzel. Les points communs et les divergences entre ces deux théories apparaissent nettement. Nous allons signaler brièvement les principaux.

La mécanique ondulatoire du photon, contrairement à la théorie quantique des champs, ne part pas des équations de Maxwell. Elle représente le corpuscule de lumière ou photon par un système de seize fonctions d'ondes complexes, solution d'une équation d'ondes qui peut être considérée comme résultant d'une opération de « fusion » entre deux équations d'ondes, de Dirac, représentant chacune un corpuscule de spin $h/4\pi$. Le photon possède une masse propre infiniment petite, mais non nulle. Les pontentiels et les champs électromagnétiques microscopiques sont des grandeurs complexes définies par des transitions entre un état de mouvement du corpuscule et un état particulier remarquable caractérisé par une fonction d'ondes invariante et constante ou « état d'annihilation ». Les équations d'ondes forment un système réductible qui se décompose en un système maxwellien correspondant à un photon vectoriel et en un système non maxwellien correspondant à un photon pseudoscalaire. La théorie du photon attribue un caractère absolu aux potentiels et par conséquent le postulat dit d'invariance de jauge de deuxième espèce qui, en électromagnétisme, enlève toute signification physique aux potentiels est écarté : ici les potentiels sont des grandeurs physiques au même titre que les champs. La méthode de seconde quantification s'applique à la théorie du photon et par suite cette théorie, comme la théorie quantique des champs, introduit des opérateurs de l'espace des n et des fonctions de répartition au moyen desquelles on définit des grandeurs électromagnétiques. Mais alors que la théorie des champs fait figurer dans les développements de Fourier des ondes à énergies positives et négatives, dans la théorie du photon ces développements ne font intervenir que des ondes planes à énergie positive et la fonction d'annihilation. Toutes les grandeurs électromagnétiques microscopiques sont représentées par des expressions complexes. Pour passer aux grandeurs électromagnétiques macroscopiques qui sont réelles, il est nécessaire de prendre leurs valeurs moyennes dans l'espace des n en tenant compte de l'intervention d'un grand nombre de quanta. Dans la représentation des interactions entre matière et rayonnement, le formalisme est sensiblement le même dans les deux théories, mais la masse propre du photon étant par hypothèse très petite mais non nulle, il existe des ondes longitudinales, les potentiels ont un sens physique et leur intervention dans l'interaction coulombienne cesse d'être paradoxale ou artificielle.

On voit par ces quelques points combien la théorie du photon de M. L. de Broglie constitue une synthèse puissante. De plus cet ouvrage donnant pour la première fois un exposé de la théorie quantique des champs, en langue française, il sera très utile aux nombreux physiciens qui se consacrent aujourd'hui à l'étude de ces problèmes et notamment aux nouvelles théories de Schwinger et de Tomonaga.

G. PETIAU.

P. COMPARAT, F. ECOCHARD, J. LAFOUCRIERE, J. THIBAUD. — Uranium 235 et Plutonium 239. Publications de l'Institut de Physique atomique de l'Université de Lyon, 1 vol. de 110 p., Paris, Gauthier-Villars, édit., 1948.

Cet ouvrage rassemble les textes d'une série de conférences sur la constitution de la matière et la structure des noyaux atomiques organisées dans le courant de 1946 sous les auspices du groupe du Sud-Est de la Société Française des Electriciens et de la Section Rhodanienne des Ingénieurs Civils de France, par un groupe de collaborateurs scientifiques de l'Institut de Physique atomique de l'Université de Lyon.

Dans le chapitre I, M. P. Comparat présente très simplement les conceptions modernes sur la structure de la matière, les noyaux atomiques et les phénomènes nucléaires. Au chapitre II, M. F. Ecochard expose les principes généraux de la mécanique de la relativité restreinte et montre comment celle-ci a conduit à concevoir l'identité entre matière et énergie, vérifiée aujourd'hui dans les expériences de matérialisation et de dématérialisation. Au chapitre III, M. J. Lafoucrière étudie brièvement les moyens de la balistique nucléaire ; projectiles (électrons, protons, deutons, hélions, neutrons), et générateurs et accélérateurs de particules. Au chapitre IV, M. P. Comparat insiste sur le rôle particulier que jouent les neutrons dans les réactions nucléaires. Au chapitre V, M. J. Thibaud, directeur de l'Institut de Physique atomique de l'Université de Lyon examine et discute le problème de l'utilisation énergétique de l'uranium. Après avoir rappelé les propriétés des noyaux des isotopes de l'uranium et montré comment cet élément est susceptible

de fournir, par le mécanisme de réactions nucléaires en chaîne, une libération continue d'énergie, il montre comment la chaleur dégagée dans le fonctionnement des piles atomiques peut permettre par l'intermédiaire d'usines thermiques l'utilisation pacifique des énergies énormes que nous savons maintenant libérer de la matière.

En appendice signalons des notes particulièrement intéressantes. A) Sur l'effort technique nécessité pour la mise au point de la libération de l'énergie nucléaire ; B) Sur les méthodes utilisables pour la séparation de U 235 ; C) Sur la préparation du plutonium ; D) Sur la bombe nucléaire ; E) Sur l'aspect économique de la libération de l'énergie nucléaire.

G. PETIAU.

DESTOUCHES (J.-L.) — La Mécanique ondulatoire. Un vol., 1-127 p. Collection « Que sais-je? ». Presses Universitaires de France, édit. Paris, 1948. 92 francs.

Ce petit livre donne, à côté de brefs rappels historiques sur les origines de la théorie des quanta et de la mécanique ondulatoire, un exposé assez clair sur les principes que M. J.-L. Destouches a posé dans ses nombreux travaux sur l'axiomatisation des mécaniques classique et ondulatoire. Bien que cette axiomatisation semble cohérente, la nécessité de l'ensemble des définitions et des principes que pose M. J.-L. Destouches ne semble pas évidente et nous ne sommes pas sûr que l'on ne puisse proposer d'autres enchaînements de définitions, d'axiomes et de théorèmes tout aussi cohérents et peut-être beaucoup plus voisins des raisonnements utilisés dans l'étude des phénomènes microscopiques par la mécanique quantique. De plus, il nous semble que la lecture de cet ouvrage risque de donner aux étudiants ou aux simples curieux des questions scientifiques une idée fausse sur la nature des problèmes étudiés par la mécanique ondulatoire.

G. PETIAU.

FABRE (René), Doyen. — La Toxicologie. Presse Universitaire de France, 1947, in-8, 119 p. Collection « Que sais-je? », 61. 92 francs.

Les lecteurs de la collection « Que Sais-Je ? » ont bien voulu réserver le meilleur accueil au petit ouvrage sur « La Toxicologie » paru il y a quelques années, et une nouvelle édition a sanctionné ce succès qui est d'autant plus intéressant à constater qu'il apporte la preuve de l'intérêt qu'a pris cette Science des Poisons, devenue sociale et bienfaisante, depuis qu'elle a apporté une précieuse collaboration à la protection de la santé des ouvriers, à l'hygiène des cités, à la défense des cultures contre les parasites. La toxicologie, pendant longtemps, fut surtout médico-légale et l'évolution de cette science, dans sa généralisation à des fins humaines, ne remonte qu'à quelques décades. C'est cette évolution, à laquelle il a particulièrement contribué, qu'a fait ressortir le Doyen René Fabre dans ce livre de vulgarisation, en apportant la preuve de son importance par de nombreux exemples tirés de sa longue pratique de toxicologue.

Le style clair et précis de cet ouvrage en rend la lecture agréable, et n'est-ce pas le but que doivent se fixer les auteurs que de joindre l'utile à l'agréable ?

R. TRUHAUT.

Géographie universelle, publiée sous la direction de P. Vidal de La Blache, membre de l'Institut, et L. Gallois, professeur à la Sorbonne. Tome VI : La France. Deuxième partie : France économique et humaine, par Albert Demangeon, professeur à l'Université de Paris. Second volume : in-8° grand jésus (20×29), 444 pages, 104 cartes et figures dans le texte, 109 photographies hors texte et une carte en couleurs hors texte (Librairie Armand Colin, Paris). Broché : 2.200 fr.

Ce volume qui termine l'étude de la France, est aussi le dernier des 23 volumes constituant cette Géographie universelle dont la librairie Armand Colin avait entrepris la publication il y a plus de vingt ans. Son auteur, Albert Demangon, avait pu en terminer la rédaction avant de disparaître, en juillet 1940, mais l'occupation et les difficultées rencontrées depuis lors en avaient retardé la publication.

Le précédent volume contenait l'étude de l'économie agricole et de la vie rurale, des grandes régions agricoles et de la circulation. On trouve dans celui-ci la géographie urbaine: les routes et les villes des différentes régions, puis 7 chapitres sur la mer (pêche, transports maritimes, villes maritimes) et 9 sur l'économie industrielle (évolution, caractère originaux des régions et des villes industrielles), les derniers chapitres sont consacrés à Paris.

En conclusion, l'analyse de la France Etat et Nation, de la formation du territoire national, des caractéristiques des diverses provinces et des fondements de l'unité nationale.

La belle présentation et l'abondante illustration de cet ouvrage continue la tradition de cette grande œuvre qui fait honneur à la Science et à l'Edition françaises, signalons en particulier les nombreuses et remarquables photographies aériennes qui ajoutent encore à la clarté de l'exposé.

R. CONSTANS.

GREGOIRE (R.), JOLIOT (F.) et CURIE (I.). — Constantes sélectionnées de physique nucléaire. Tables de constantes et données numériques. II. Un vol. 22 × 27 cm, 1-148 pages, Paris, 1948, Hermann et Cie, édit.

Ce volume rassemble les tables suivantes : I. Constantes universelles; II. Périodes et transmutations des atomes (éléments, abondances relatives des isotopes, périodes radioactives, modes de formation et de destruction, références bibliographiques); III. Transformations des atomes radioactifs naturels et artificiels avec émission de rayons β et γ : IV. Transformations des atomes radioactifs naturels, avec émission de rayons α et γ ; V. Bilans énergétiques des réactions nucléaires; VI. Différences de masses entre atomes ionisés; VII. Masses relatives physiques des atomes; VIII. Caractéristiques des atomes stables (spin, moment magnétique, facteur de Landé, moment quadrupolaire); IX. Sections efficaces (énergie des niveaux de résonance des neutrons lents, capture et diffusion des neutrons, transmutations diverses); X. Energie des neutrons de fission.

Ces tables sont accompagnées d'une série de graphiques : courbes parcours-énergies (protons, particules α, électrons), courbes coefficients d'absorption massique, énergies dans Al, Cu, Pb pour les photons.

Un tableau des noyaux stables et radioactifs complète cet ouvrage qui rendra les plus grands services à tous les spécialistes de la physique nucléaire.

G. PETIAU.

GUILLAUMIN (A.). — Les Plantes sauvages. Biologie et utilisation. Collection « Bibliothèque scientifique », Payot, édit., Paris, 1948. Un vol. in-8°, 220 pages, 13 figures hors texte. Tirage limité à 1.750 exemplaires.

Après avoir consacré un volume de la même collection aux Plantes cultivées, l'auteur traite, dans celui-ci, des Plantes sauvages. Un très court résumé, trois pages seulement, concerne les Plantes sauvages « dans le passé », c'est dire que tout le reste du volume intéresse « les Plantes sauvages dans le présent ». Les quatre premiers chapitres passent en revue les facteurs conditionnant la végétation : facteurs climatiques, édaphiques, géographiques, anthropozoogènes. Viennent ensuite des notions sur : types biologiques, modes de reproduction, moyens de dissémination, associations et formations végétales. En cinquante pages (pp. 63-113), sont condensés les faits relatifs à la distribution des plantes sauvages : régions botaniques, plantes caractéristiques, physionomie botanique des diverses régions du globe — les caractères botaniques de l'Union française faisant l'objet d'un chapitre spé-

cial. Cet ouvrage renferme encore des exposés sur : origine des espèces (quatre pages) ; utilisation des plantes (chapitre fort étendu : plantes alimentaires, à bois, gommes, corps gras, officinales, magiques, etc.) ; plantes nuisibles (Phanérogames, Champignons, Bactéries). Un autre important chapitre concerne les « Plantes sauvages particulièrement remarquables » : reliques et relictes, plantes géantes, carnivores, myrmécophiles, lumineuses, etc. Enfin, dans les cinq dernières pages, l'auteur se préoccupe de l'avenir des plantes sauvages et de leur protection : réserves, parcs nationaux. Cette simple et incomplète énumération montre l'intérêt de ce livre. A. Guillaumin y condense une abondante documentation éparse dans de nombreux ouvrages. Bien que destiné, en principe, au grand public, les spécialistes trouveront cependant profit à consulter cet ouvrage. On déplorera cependant que les circonstances actuelles n'aient pas permis l'insertion d'un index bibliographique, eût-il été réduit aux plus importantes indications.

Paul JOVET.

LECOMTE (J.). — Le rayonnement infra-rouge. T. I ; applications biologiques, physiques et techniques. Collection des Actualités radiologiques. Gauthier-Villars, édit., Paris, 1948. In-8 (21×16), 392 p., 184 fig. Prix : 1.800 francs.

M. Jean Lecomte dont la conférence-rapport sur le spectre infra-rouge, parue en 1928, est bien connue de tous les physiciens et chimistes, nous présente ici une étude qui, sans prétendre exposer toutes les utilisations actuelles du rayonnement infra-rouge, nous montre, néanmoins, d'une façon détaillée et précise, les principales grandes techniques industrielles sorties des travaux de laboratoire des trente dernières années.

Etant donné l'ampleur du sujet, afin d'établir une classification rationnelle, les applications de l'infra-rouge étudiées ont été réparties en deux groupes. D'une part, utilisation de l'infra-rouge ne faisant pas intervenir la décomposition spectrale (I : applications industrielles de l'énergie rayonnante, technique, appareillage et utilisation du séchage infra-rouge ; II : applications médicales et biologiques ; III : technique et applications de la photographie infra-rouge) ; d'autre part, utilisations de l'infra-rouge faisant intervenir la répartition spectrale du rayonnement (IV : récepteurs non sélectifs et technique expérimentale ; V : récepteurs sélectifs et leurs applications ; VI : sources d'infra-rouge: lois de radiation, application à la pyrométrie optique ; VII : applications à l'astrophysique). Les chapitres VIII, spectres de réflexion et d'absorption et leur application à l'analyse chimique, et IX, détermination des structures moléculaires par les spectres infra-rouges, doivent faire l'objet du tome II.

Nous constatons, avec plaisir, que cet ouvrage abondamment illustré est imprimé sur un papier de bonne qualité et d'une édition particulièrement soignée.

G. PETIAU.

MARTONNE (Emmanuel de). — Géographie aérienne. 1 vol. in-16, 241 pages, 27 figures, 48 planches hors-texte. Paris, 1948. Albin Michel, éditeur. (525 fr.).

La seconde moitié du XIX^e^ siècle a vu l'installation de postes météorologiques dans tous les pays civilisés. Températures, humidité, précipitations atmosphériques, vents, ont été régulièrement enregistrés et ont permis de dresser des cartes valables pour une partie de la surface du Globe.

Dans les premières années du XX^e^ siècle, les premiers sondages aériens apportèrent des renseignements étonnants sur les variations de la température et la circulation atmosphérique jusqu'à 12 et 14 kilomètres d'altitude. C'est le développement de l'aviation qui a entraîné tous les progrès récents de la météorologie.

L'avion est devenu un moyen de transport normal et dans l'instant même un nouveau moyen d'observation.

Les avions permettent des levés cartographiques du plus haut intérêt pour les géographes et tous les naturalistes. Ils permettent de comprendre les formes des paysages survolés et de les interpréter. Il y a dans l'ouvrage de M. Emmanuel de Martonne un très beau chapitre de physiographie aérienne.

Le dernier chapitre est consacré au développement de la circulation aérienne, à la recherche des nouvelles routes (vers le bien ou vers le mal).

Une bibliographie copieuse (14 pages) termine l'ouvrage richement illustré de 48 planches de photographies aériennes.

R. FURON.

PARODI (M.). — Applications physiques de la transformation de Laplace. Préface de M. J. Pérès. Centre National de la Recherche Scientifique. Centre d'Etudes Mathématiques en vue des applications. Un vol. 15,5×24, VIII, 177 p. Paris, 1948. C.N.R.S., édit. Prix : 800 fr.

Le Centre d'Etudes Mathématiques en vue des Applications a été créé au Centre National de la Recherche Scientifique en 1942, sur l'initiative de MM. Louis de Broglie et Frédéric Joliot, dans le but de préparer par des discussions en commun entre mathématiciens, physiciens, chimistes et biologistes, la rédaction d'ouvrages de mathématiques appliquées répondant aux besoins des utilisateurs. M. M. Parodi, un des premiers participants à ces réunions, a bien voulu accepter de rédiger dans ce sens une monographie sur le calcul symbolique de Heaviside dont l'emploi est aujourd'hui généralisé en électrotechnique et qui tend à devenir l'un des grands instruments mathématiques de la physique. S'il existait à l'étranger des ouvrages importants sur ce sujet (citons seulement l'ouvrage allemand de M. G. Doetsch et l'ouvrage américain de M. D. V. Widder), les lecteurs de langue française ne disposaient, jusqu'ici, que de quelques brochures très imparfaites et de quelques articles de revues techniques écrits soit par des ingénieurs spécialisés, soit par des mathématiciens purs. Par suite, l'ouvrage de M. Parodi rendra de très grands services en mettant à la disposition des ingénieurs un instrument de travail de premier ordre avec lequel ils seront à l'abri des incertitudes sur la correction mathématique rencontrées souvent dans les publications antérieures.

M. Parodi étudie d'abord, dans le chapitre I, les principes fondamentaux du calcul symbolique, définition et propriétés de la transformation de Laplace, règles et correspondances fondamentales du calcul symbolique, tableau des principales correspondances. Ces principes sont ensuite appliqués au chapitre II à la résolution des équations ou des systèmes d'équations différentielles linéaires à coefficients constants pour lesquelles la méthode du calcul symbolique permet d'incorporer les conditions initiales préalablement à la résolution de l'équation. Au chapitre III la méthode du calcul symbolique permet d'étudier des problèmes conduisant à des équations aux dérivées partielles : équation des télégraphistes et application à l'étude des lignes de transmission, problèmes de propagation de la chaleur, théorie de la barre élastique, équation des ondes. Au chapitre IV, cette méthode est utilisée pour le calcul d'intégrales définies et l'étude des propriétés de certaines fonctions : fonctions intérieures, polynomes de Laguerre, fonctions de Bessel.

Au chapitre V, le calcul symbolique est appliqué à la résolution des équations intégrales de Volterra et des équations intégrodifférentielles dont le noyau appartient au groupe du cycle fermé, puis aux équations de Fredholm de première et de seconde espèces. Le chapitre VI est consacré à la discussion de la liaison entre le calcul symbolique et la théorie de la composition de MM. V. Volterra et J. Pérès. Le chapitre VII, particulièrement important, appliquera le calcul symbolique à l'étude des régimes transitoires dans les réseaux électriques. Après avoir rappelé les éléments de la théorie des réseaux et le principe de la méthode de Carson, le problème fondamental de la théorie des réseaux est résolu en supposant connues les admittances indicielles dont on montre ensuite comment la détermination peut être effec-

tuée. Les résultats obtenus sont appliqués ensuite à l'étude de la ligne finie avec pertes et terminaison, puis à l'étude des filtres et des régimes transitoires dans les filtres.

On voit, par cette revue, l'intérêt exceptionnel que présente cet ouvrage qui rendra les plus grands services à tous les physiciens et à tous les ingénieurs électriciens.

G. PETIAU.

REY (Abel). — L'apogée de la Science technique grecque : l'essor de la Mathématique. Editions Albin Michel. un in-16 soleil de XVI-324 p. Paris, 390 fr.

Très beau livre, dont l'auteur a succombé en 1940, alors que s'achevait le tome IV de la revue Thalès dont il avait doté son Institut d'Histoire des Sciences. Le complément donné en ces pages par Abel Rey à l'histoire de la Science grecque, à laquelle il avait consacré trois volumes antérieurs, relatifs à ses ascendances orientales, à sa jeunesse, à sa maturité, achève seulement le prologue de l'œuvre historique du regretté philosophe, qui ambitionnait d'écrire une sorte d'histoire générale de la pensée dans la science. Il a laissé, en 1940, les manuscrits de deux autres livres sur l'apogée de la Science grecque. Le présent s'attache spécialement à sa partie mathématique, dans ce qu'elle comporte de plus achevé.

« L'histoire des Sciences est avant tout l'histoire de leur esprit philosophique. » Voilà ce que rappelle la note préliminaire, courte, mais bien représentative du programme d'ensemble que l'auteur s'était fixé. Et cette idée imprègne toute la suite, depuis le rappel du texte de Proclus, extrait de ses commentaires aux Eléments d'Euclide, qui reste encore le principal témoin en cette matière, jusqu'aux chapitres successifs qui, après avoir passé en revue la méthode des Grecs, et leurs problèmes les plus célèbres, approfondissent spécialement l'histoire de la théorie des coniques, et les œuvres d'Hippocrate de Chio, d'Euclide, d'Appolonius et d'Archimède. Ainsi est reconstitué, pour les lecteurs français, « l'effort triomphant de la pensée grecque », selon le mot de M. Henri Berr, qui, dans quelques pages d'avant-propos, fait l'éloge du livre d'Abel Rey.

G. BOULIGAND.

SAINTE-LAGUE (A.). — Le monde des figures. In-8 de 360 p., 200 fig. et planches. Collection « Savoir ». Arthème Fayard, 1948. Prix : 500 fr. (Un index analytique. Nn index des noms propres.)

Dans ces pages attrayantes, l'auteur a rallié à la diversité des formes offertes à nos regards la diversité des idées qui s'y laissent rattacher. Si des lignes et des surfaces d'allure harmonieuse participent à cet ensemble pour évoquer la maîtrise du géomètre et le secours que peuvent en attendre les morphologistes, ces figures s'entremêlent au reste sans aridité : elles ne constituent qu'un noyau entre des tissus d'une grande richesse. Ce que l'œil peut voir, par un mécanisme que l'auteur se plaît à nous préciser, est ici passé en revue : nuages, cristaux, fleurs, corps de l'homme ou des animaux sont autant de thèmes qui, bien qu'éloignés, fournissent la matière de rapprochements inattendus. De ce bouquet, où la tonalité artistique prédomine, s'échappe aussi un parfum philosophique, à la rencontre de ces images mentales dont l'interprétation induit vers la philosophie de la forme, ou encore de ces aspects variés des écritures anciennes ou modernes, ou enfin de ces pertinentes analyses, ouvrant des horizons vers l'esthétique. La malice ne pouvait perdre ses droits : caricatures, ressemblances, voilà des objets ou des idées qui, par avance, assuraient à cette qualité bien française un large accès. Et la police, appelée en notre siècle à un si grand rôle, qu'on espère ne pas voir trop s'accroître, prend sa part de ce rayonnement scientifique si suggestif. Il atteindra, mélangé de beaucoup de charme, les nombreux lecteurs de cet ouvrage, sans précédent dans la littérature.

G. BOULIGAND.

TRUHAUT (R.). — Chimie analytique appliquée. Travaux pratiques de 4e année. Fascicules I, II et IV. 3 volumes 22 × 25 de 361 pages. Edit. Centre de documentation universitaire. Paris, 1948. Prix, broché : 300, 140 et 300 fr. respectivement.

L'auteur, chef de Travaux pratiques de 4e année à la Faculté de Pharmacie de Paris, a condensé, sous une forme méthodique et précise, tous les documents analytiques indispensables aux étudiants pour effectuer, avec profit, les manipulations de Chimie biologiques (fascicule I), de toxicologie (fascicule II), de pharmacie chimique et de pharmacie galénique.

En réalité, ces fascicules s'adressent à tous ceux qui désirent se perfectionner dans la pratique de la chimie analytique appliquée, soit qu'ils suivent encore les cours de nos Facultés, soit qu'ils exercent des professions dans lesquelles les résultats d'analyse sont utilisés. Ils offrent l'avantage appréciable de ne décrire que des méthodes précises et sûres conduisant d'une façon certaine à un résultat pratique susceptible d'être transformé en un rapport d'analyse ou en une conclusion d'expertise.

L'ouvrage de M. Truhaut est certainement appelé à un succès de longue durée. Beaucoup de chimistes confirmés sauront, eux-mêmes, tirer profit de sa lecture.

E. CATTELAIN.

Traité de Zoologie. — Anatomie, systématique, biologie, publié sous la direction de **M. Pierre P. Grassé,** professeur à la Sorbonne. Tome XI. - Echinodermes, Stomocordés, Procordés. 1 vol. Masson et Cie, 1948. 1.077 pages.

On peut dire, sans être taxé d'exagération, que l'année 1948 marquera une étape importante dans l'histoire des sciences biologiques : c'est, en effet, qu'elle aura vu paraître le premier volume d'une œuvre considérable, le traité de Zoologie publié sous la direction du professeur Pierre-P. Grassé. Il n'est guère besoin d'insister sur la nécessité d'une telle publication, ni sur les éminents services qu'elle rendra à tous ceux qui, a un titre quelconque, s'intéressent à la Zoologie. Jusqu'alors, on devait recourir à des ouvrages sans doute excellents, comme le traité classique d'Ed. Perrier, ou celui, d'ailleurs inachevé, d'Y. Delage et E. Herouard. Mais, ceux-ci, difficiles à trouver maintenant, sont déjà anciens et dépassés sur beaucoup de points. Il était donc éminemment souhaitable qu'une équipe de savants entreprenne de rassembler les connaissances actuelles sur le Règne animal : c'est cette immense tâche qu'a réalisée le professeur Grasse, avec la collaboration des plus grands noms de la Biologie contemporaine.

Le premier tome qui vient de paraître traite des Echinodermes, Stomocordés et Procordés. Il ne peut être question de résumer, même brièvement, un tel volume; tout au plus peut-on en indiquer les principales subdivisions :

Echinodermes : Anatomie, éthologie, systématique, par L. Cuénot — Distribution géographique, par L. Cuénot — Embryologie, par C. Dawydoff.

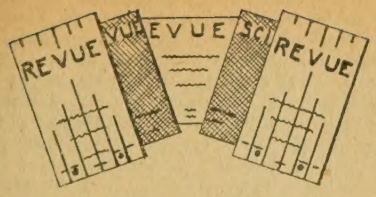
Stomocordés : Introduction, par C. Dawydoff — Classe des Entéropneustes, par C. Dawydoff — Classe des Ptérobranches, par C. Dawydoff — Classe des Graptolites, par G. Waterlot. — Conception morphologique du Stomocordé, par C. Dawydoff. — Affinités des Stomocordés, par C. Dawydoff.

Cordés : Généralités sur les Cordés, par P. Brien et A. Dalcq — La notion de Procordés et les embranchements de Cordés, par P. Drach.

Embranchement des Tuniciers. — Morphologie et reproduction, par P. Brien. — Systématique et éthologie, par H. Harant.

Embranchement des Céphalocordés, par P. Drach.

L'anatomie, la systématique, l'écologie, l'éthologie, la physiologie même ont un développement harmonieusement équilibré; l'autorité scientifique des rédacteurs est le plus sûr



les revues

1° SCIENCES MATHEMATIQUES

BULLETIN OF THE AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY. — Menasha et New-York. Vol. 54. Novembre-décembre 1948. — **O. Neugebauer** : Méthodes mathématiques dans l'astronomie des Anciens. — **T. J. McMinn** : Mesurabilité restreinte. — **R. Breutsch** : Sur la distribution des valeurs de [f (z)] dans le cercle unité. — **H. Pollard** : La monotonie complète de la fonction de Mittag-Leffler E (— x). — **B. M. Ingersoll** : Un problème de valeurs initiales pour les équations du type hyperbolique. — **J. H. C. Whitehead** : Note sur un théorème de Borsuk. Sur le type d'homotopie d'un rétracte absolu. — **D. Zelinsky** : Caractérisation topologique de champs valués. — **H. Robbins** : La distribution asymptotique de la somme d'un nombre aléatoire de variables aléatoires. — **K. L. Chung** : La distribution asymptotique de la somme cumulative maxima de variables aléatoires indépendantes. — **G. Pall** : Composition des formes quadratiques binaires. — **S. A. Kiss** : Les semi-treillis et une opération ternaire sur les treillis modulaires. — **G. E. Bates et F. Kiokemeister** : Sur les représentations homéomorphes de quasi-groupes au moyen de systèmes multiplicatifs. — **D. H. Lehmer** : Sur une conjecture de Krishnaswami.

BULLETIN DES SCIENCES MATHEMATIQUES. — 2° Série, tome LXXII, juillet-août 1948. — **L. Bendersky** : Sur quelques problèmes concernant les épreuves répétées. — **N. Pastides** : Sur les séries entières à rayon de convergence nul. — **E. Cotton et Ma Min Yuan** : Sur les critères de stabilité de Routh et de Hurwitz.

COMMENTARRI MATHEMATICA HELVETICI (O. Füssli, Zurich). Vol. XXII, fasc. 1. — **L. Cesari** : Propriétés tangentielles des surfaces continues. — **S. Bays** : Sur la transitivité et la primitivité des groupes de substitutions. — **J. Szép** : Sur les groupes finis représentables comme produits de deux sous-groupes. — **P. H. Bloch** : Sur la connexion entre les abscisses remarquables lors d'une transformation de Laplace. — **J. H. C. Whitehead** : Sur les polyèdres à quatre dimensions simplement connexes.

JOURNAL DE MATHEMATIQUES PURES ET APPLIQUEES. — 9° Série, tome 27, 1948. — **F. Alardin** : L'autoparallélisme des courbes extrémales dans les espaces métriques fondés sur la notion d'aire.

2° SCIENCES PHYSIQUES

CHIMICA (Rome). — N° 1, janvier 1949. — **M. Resta** : Panorama économique international. — **E. Crivelli** : Méthodes modernes de production du minium et de la lithar-

---

LES LIVRES (suite)

garant de la haute tenue de l'ouvrage. L'illustration est abondante et particulièrement soignée; la plupart des dessins sont originaux et ont été exécutés spécialement pour le Traité, d'après nature ou d'après des documents de valeur indiscutable; à la suite de chaque chapitre se trouve une importante bibliographie qui fait état des travaux les plus récents et qui sera appréciée des chercheurs.

On peut, dès à présent, prévoir le vif succès qu'aura ce livre magistral. Qu'il nous soit permis de terminer en faisant un vœu : celui de voir paraître au plus vite les autres volumes de ce Traité de Zoologie, dont l'ensemble formera une œuvre capitale pour le rayonnement universel de la pensée scientifique française.

R. CAVIER.

WOLFF (E.). — La science des monstres. Paris, Gallimard, 1948. Un volume de la collection « L'Avenir de la Science », in-16 jésus, de 254 pages, 60 illustrations et 39 planches hors-texte. Prix : 580 fr.

Depuis l'antiquité, les monstres ont provoqué les sentiments les plus divers mais leur étude scientifique, la tératologie, a été fondée par Etienne et Isidore Geoffroy Saint-Hilaire qui non seulement décrivent les monstres mais aussi les classent et surtout les expliquent. Tous les travaux parus depuis s'intègrent dans les catégories définies dans le Traité de Tératologie. Maintenant cette science est passée du domaine descriptif à celui de l'Embryologie et surtout de l'Embryologie expérimentale. Les phénomènes tératologiques sont entrés dans le cadre des lois du développement normal.

A la lumière de ses remarquables travaux sur l'embryon de poulet, l'auteur nous prouve que la monstruosité est « due à une modification locale survenant à un certain stade du développement ». L'auteur distingue des monstres par excès et des monstres par défaut. Certains organes en excès doivent leur existence au maintien et à la stimulation d'un dispositif embryonnaire transitoire, ce qui est le cas des hermaphrodites pour lesquels il est préférable d'employer le terme d'intersexués plus en rapport avec le cas. La méthode d'irradiation par les rayons X a permis à l'auteur de produire des monstruosités bien déterminées en irradiant une zone précise de l'embryon. On voit tout de suite l'importance de l'interpénétration de l'Embryologie, de la Tératologie et de l'Embryologie expérimentale.

Les monstruosités ou malformations héréditaires nous entraînent dans le domaine de la génétique puisqu'elles se constituent de la même manière que les malformations accidentelles ou expérimentales. On peut rapprocher les facteurs tératogènes des facteurs létaux héréditaires mais leur nature reste à préciser. Maintenant, « il ne s'agit plus de savoir pourquoi ni comment se forment les monstres, on se demande seulement comment s'édifient certains monstres ».

Les titres des chapitres indiquent suffisamment le plan suivi : Aperçu historique - Définition des monstruosités - Un aperçu des différentes formes de monstres - Les problèmes et les méthodes tératologiques - Explication anatomique et embryologique — Les techniques de la tératologie expérimentale - L'explication expérimentale des monstres doubles - La production expérimentale des monstres simples - Les lois de la tératogénèse - L'hermaphrodisme, la persistance d'organes embryonnaires et la réapparition d'organes ancestraux - Les malformations héréditaires.

Nous avons là un ouvrage de grande valeur qui nous montre comment cette science est passée au rang de science expérimentale et s'est intégrée dans la Biologie.

J. CHAUX.

ge. — **G. D. Testi** : Mécanisme chimique de la photosynthèse.

INDIAN JOURNAL OF PHYSICS AND PROCEEDINGS OF THE INDIAN ASSOCIATION FOR THE CULTIVATION OF SCIENCES. — T. 22, n^os 9 et 31, n° 9, septembre 1948. — **J. B. Seth** : La géométrie de la réfraction extraordinaire. — **V. S. Nasida et R. K. Kapur** : Une note sur la thermodynamique du thermomètre à réservoir humide ou sec. — **K. C. Mazumder** : Une note sur les alliages binaires. — **S. P. Sinha** : Structure de rotation des bandes 3.600 et 3.200 A de Na_2. — **M. K. Ghosh et K. C. Mazumder** : L'analyse spectro-chimique des alliages naturels. — **S. S. Banergee** : Variations périodiques de l'intensité des signaux de radio de courtes longueurs d'onde. — **V. Ramakrishna Rao** : Séparation des multiplets dans les spectres complexes III.

3° SCIENCES BIOLOGIQUES ET NATURELLES

ANALES DE LA ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLOGICAS, Instituto Politecnico Nacional, Mexico, Vol. III, année 1944, n^os 3-4. — **Izquierdo J. J.** — Hommage à Harvey rendu par le Département de Physiologie de la Faculté de Médecine de l'Université Nationale Autonome. — **Izquierdo J. J.** : Place de Harvey dans l'histoire de la méthode scientifique de la Biologie. — **Torre Blanco J.** : La fonction hépatique pendant la grossesse en relation avec le métabolisme des glucides. — **Sanchez Marroquin et Casas Campillo A. y C.** : Isolement, incidence et caractérisation du bactériophage de « Rhizobium meliloti ». — **Osorio Tafall B. F.** : L'expédition du M. S. « Gracioso » dans les eaux de l'extrême Nord-Ouest mexicain. - I. Résumé général. — **Beltran E.** : Protozoaires du sang des oiseaux. — **Wygodzinsky P.** : Contribution à la connaissance de la famille des « Campodeidæ » (Entotrophi, Insecta) du Mexique. — **Bolivar y Pieltain C.** : Etude sur quelques Eumastacides d'Indo-Malaisie (Orth. Acrid.). — **Sampson W. W.** : Additions aux Aleyrodidæ du Mexique (Hem. Hom.). — **Caldwell J. S.** : Le Genre « Cedusa » au Mexique et en Amérique Centrale (Hem. Fulg.). — **Mullerried F. K. G.** : Géologie, stratigraphie et paléontologie de la région de Cacahuamilpa.

LA CHRONIQUE DES MINES COLONIALES. — N° 151, 15 janvier 1949. — **M. Bucher** : La détermination de la valeur d'une mine. — Actualité minière, études régionales, etc.

LA REVUE D'OKA. — Vol. XXIII, n° 1, janvier, février 1949. — **R. Cossette** : La crème glacée au XX^e siècle. — **J. A. Lapointe** : La conservation des petits fruits par la congélation. — **P. Hubert, P. Claude** : Savez-vous que?

4° ART DE L'INGENIEUR

BULLETIN TECHNIQUE DU « VERITAS ». N° 1, janvier 1949. — **M. Pignères** : Le sondage par le son. — **H. H. German** : « L'Abegweit », car ferry-boat.

BULLETIN TECHNIQUE DU « VERITAS ». — N^os 2 et 3, février et mars 1949. — **L. Jauch** : Les extractions d'eau d'alimentation dans les chaudières marines. — **J. Legris** : Nouvelle méthode de lignage des lignes d'arbres de navires. — **W. A. Tuplin** : Perfectionnement en matière d'engrenages réducteurs marins. — **J. van Buuren** : Le moteur Werkspoor-Lugt. — **R. E. Hardingham** : Les chances de survie dans les accidents d'avions.

ELECTRICAL ENGINEERING. T. 67, n° 12, décembre 1948. — **F. O. Mac Millan** : La prévision à longue échéance pour l'approvisionnement en énergie. — **H. P. Walker et T. E. Shea Jr.** : L'isolement par la silicone dans les sous-marins. Toxicité. — **S. G. Lutz, S. J. Tetenbaum** : Un tube électronique pour visualiser les champs magnétiques. — **T. G. Le Clair** : Le métier d'ingénieur. — **G. J. Himler, G. I. Cohn** : L'effet de soufflage inverse. — **A. M. Harrison** : L'équipement de ventilation à bord des vaisseaux. — **J. H. Keyser** : La prérotation électrique des roues des trains d'atterrissage. — **A. E. Peterson** : Influence magnétique sur les instruments portatifs. — **N. T. Jucarone** : La propulsion électrique pour les navires de surface. — **A. C. Monteith** : Problèmes non résolus dans le domaine de l'énergie. — **V. B. Hart** : Le contrôle des démarreurs des aéroplanes à plusieurs réacteurs. — **J. Rabinou** : La liaison à fluide magnétique. — **J. C. Grigg et J. E. Watkins** : Les protecteurs de surcharge des moteurs sur les vaisseaux. — **F. L. Lawton** : La Scandinavie vue par un ingénieur hydroélectricien canadien. — **J. M. Marzolf** : Coupe-circuit pour courant de retour dans les aéronefs. — **S. D. Summers** : Résistance et inductance pour câble à trois conducteurs. — **G. Birkhoff** : Mathématiques pour ingénieurs. - III. Analyse dimensionnelle et équations aux dérivées partielles. — **F. E. Anderson et W. H. Fifer** : Energie fournie à terre par des navires. — **W. F. Bonwitt** : Connexions aluminium-cuivre. — **W. M. Edmunds et G. B. Roloson** : Le voltage dans les distributions rurales.

ELECTRICAL ENGINEERING. — T. 68, n° 1, janvier 1949. — **W. D. Hailes** : La radio en chemin de fer. — **F. E. Sanford** : Les avantages professionnels dans le domaine de la distribution électrique. — **H. B. Slade, F. P. West** : Câbles coaxiaux isolés au polyéthylène. — **R. A. Robinson** : Bobines compensatrices pour compas. — **A. W. Brown** : Sondage industriel. — **N. B. Michel** : Installations démagnétisantes dans les vaisseaux. — Les réalisations techniques de 1948. — **S. L. Goldsborough** : Un nouveau relais à la terre. — **F. L. Hermach** : Voltmètre électro-d'électricité. — **H. T. Herbst** : Caractéristiques de l'arc dans la soudure « Heliarc ». — **L. W. Buechler** : Amplificateurs magnétiques pour les navires. — **M. L. Waring** : Le développement du réseau électrique du métropolitain de New-York. — **F. J. Singer** : Les systèmes de télétypes militaires. — **H. A. Frey** : La contamination des surfaces isolantes. — **T. J. Higgins** : Histoire du calcul opérationnel utilisé dans l'analyse des circuits électriques. — **S. C. Killian** : Nouvel interrupteur à air pour l'extérieur. — **W. L. Maason** : Une introduction sur l'enrichissement des minerais. — **A. F. Gettelman** : L'énergie électrique dans une grande usine d'enrichissement du minerai de fer. — **N. N. Smeloff** : Contrôle du voltage sans régulateur d'alimentation. — **W. G. Dow** : L'électronique et la formation technique. — **W. R. Le Page** : Dualité dans les circuits et conventions de polarité.

ELECTRICAL ENGINEERING. — T. 68, n° 2, février 1949. — **L. M. Cobb, W. L. Kershaw, O. E. Erlandson** : Un système électrique alternatif pour aéronef. — **W. J. Ridout** : L'électricité joue un rôle fondamental en agriculture. — **E. Klein, T. F. Jones** : L'emploi du Sonar dans la défense côtière et les opérations de débarquement amphibies. — **J. N. Gosinski, J. R. Oberholtzer** : Application des régulateurs de fourniture de voltage. — **G. G. Young** : Tendances des dispositifs à modulation de fréquence. — **W. Word, H. A. Smith** : La préparation des grands réseaux hydroélectriques. — **R. H. Macpherson, A. R. van C. Warrington, A. J. McConnell** : Relais électroniques protecteurs. — **A. L. Riche** : Commutateurs par contact de précision. — **E. W. Boehne** : Méthodes d'encouragement pour l'enseignement dans le domaine énergétique. — **J. H. Blankenbuehler** : L'énergie à bord des aéronefs. — **G. R. Slemon** : Influence radioélectrique des couronnes de haut voltage. — **E. H. Salter** : La mesure de la résistance et de la réactance des conducteurs. — **L. G. Abraham** : Les progrès dans les systèmes coaxiaux pour téléphonie et télévision. — **M. W. Rothpletz, H. S. Williams** : Coordination des effets d'induction dans les lignes rurales. — **J. M. Comly, T. M. Schroeder** : La nécessité du contrôle des systèmes chargés. — **R. H. Herrick** : Le système radiotéléphonique des Grands Lacs. — **D. K. Frost** : La sécurité dans la direction des machines-outils. — **P. S. Steven** : L'évolution de la direction des pelles et des dragues. — **H. M. Dimond, G. S. Lunge** : Le contrôle des réseaux à basse fréquence interconnectés.

LA TECHNIQUE MODERNE. N^os 1-2, 1^er-15 janvier 1949. —**M. Garreau** : L'électrification de Paris-Lyon. Les locomotives et les automotrices. — **L. Cahen** : Le Congrès de Télévision. — **J. Canuel et J. Delpla** : Les machines spéciales de fabrication en éléments standard.

LA TECHNIQUE MODERNE. — n^os 3 et 4, 1^er et 15 février 1949. — **M. Garreau** : L'électrification de Paris-Lyon. Les locomotives et les automotrices. — **Geo P. Portejoie** : Les laminoirs modernes. — **J. Canuel** : Les machines spéciales de fabrication en éléments standard (fin).

5° REVUES GENERALES ET DIVERSES

ANNALES DE LA SOCIETE SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES. — Tome 62, fasc. 3, décembre 1948. — **V. Thébault** : Sur des nombres curieux. — **R. H. J.. Germay** : Remarque sur une méthode d'approximations successives pour l'intégration des systèmes linéaires d'équations différentielles; extension à des systèmes normaux de forme générale. — **A. Biot** : Sur un problème relatif à l'astigmatisme du dioptre. — **A. Boutaric et Mlle P. Berthier** : Dépolarisation produite par une suspension de particules isotropes sur un faisceau de lumière polarisée observé dans la direction de propagation. — **M. Lecat** : Azéotropes orthobares de nitrates.

ANNALES DE LA SOCIETE SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES. — Tome 63, fasc. 1, mars 1949. — **V. Thébault** : Sur le tétraèdre orthocentrique. — **R. Ballieu** : Anneaux finis à module de type (p, p^2). — **F. Simonart** : Sur l'intégrale particulière de Cauchy d'une équation linéaire. — **R. H. Germay** : Sur une modalité de la méthode d'intégration par approximations successives des équations aux dérivées partielles du premier ordre. — **J. Kampe de Fériet** : Sur la décroissance de l'énergie cinétique d'un fluide visqueux incompressible occupant un domaine borné ayant pour frontière des parois solides fixes. — **P. Drumaux** : La récession des nébuleuses extra-galactiques (4° partie). — **M. Lecat** : Azéotropes homofonctionnels d'hydrocarbures.

ARCHIVES INTERNATIONALES D'HISTOIRE DES SCIENCES. — T. XXVIII, n° 6, janvier 1949. — **G. Bouligand** : Sur une doctrine de la connaissance mathématique et ses incidences historiques. — **P. Humbert** : Dom Anthelme, chartreux et astronome. — **R. Eisler** : The polar sighting-tube. — **H. Bernard-Maître** : Un correspondant de Bernard de Jussieu en Chine. Le Père Le Chéron d'Incarville, missionnaire de Pékin, d'après de nombreux documents inédits. — **M. A. Borgeaud** : Cartographie genevoise du XVI^e au XIX^e siècle. — **S. Lilley** : Social aspects of the History of Science. — **J. Putman** : De l'origine et de la fin de la science grecque et de l'origine de la science moderne. — **M. L. Bonelli** : L'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze. — **W. H. Schopfer** : Remarque bibliographique sur l'histoire du terme « cambium ».

ARCHIVES DES SCIENCES. — Vol. 1, fasc. 3, 1948. — **B. Dussart** : Sur le plancton du lac Léman. — **E. Bachrach** : La labilité des caractéristiques biothermiques. — **P. Rossier** : La géométrie et la théorie de la connaissance.

EXPERIENTIA. — Vol. V, fasc. 2, février 1949. — **C. P. Huttrer** : Recent Progress in Histamine and Antihistamine Research.

JOURNAL OF RESEARCH OF THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. T. 41, n° 1, juillet 1948. — **A. A. Maryott** : Moments dipolaires et association moléculaire de quelques picrates d'amines primaires, secondaires et tertiaires dans le benzène et le dioxane. — **A. A. Maryott** : Constante d'équilibre acide-base et moment dipolaire du picrate de tribenzylammonium dans le benzène à partir de mesures de constante diélectrique. — **H. L. Frush et H. S. Isbell** : Aminodérivés de l'acide mannuronique. — **G. R. Shelton, A. S. Creamer, E. N. Bunting** : Propriétés de diélectriques aux titanates de baryum-magnésium. — **M. Maclean Davis, P. J. Schuhmann, M. E. Lovelace** : Réactions acide-base dans les solvants organiques. — **S. L. Madorsky, S. Straus** : Concentration du cuicre 63 par électromigration à contre-courant. — **H. S. Roberts et H. L. Curtis** : Un instrument pour la production rapide d'une série décimale de potentiels et son application aux mesures balistiques. — **J. D. Ferry** : Propriétés viscoélastiques des solutions de polymères. — **E. J. McDonald et A. L. Turcotte** : Densité et indices de réfraction des solutions de lactose. — **H. L. Logan et H. Hessing** : Essais de résistance et de corrosion sur des feuilles d'alliages d'aluminium à grande résistance.

JOURNAL OF RESEARCH OF THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. T. 41, n° 2, août 1948. — **F. L. Roth et R. D. Stiehler** : Essai de tension pour l'étude des composés du caoutchouc. — **W. L. Holt, E. O. Knox, F. L. Roth** : Appareil d'essai d'élasticité pour le caoutchouc. — **E. T. Carlson et L. S. Wells** : Hydrates d'aluminate de baryum. — **E. A. Cadwallader, A. Fookson, T. W. Mears et F. L. Howard** : Condensations aliphatiques par le sodium. — **W. W. Walton et H. S. Isbell** : Baryum.2-cétobactobionate et le sel double de bromure de baryum correspondant. — **E. K. Plyler** : Spectrométrie infra-rouge par prisme de 24 à 40 microns. — **E. G. Bloom, F. L. Mohler, J. H. Lengel, C. E. Wise** : Spectre de masse des octanes. — **C. S. Bruce** : Effets de produits de remplacement dans les moteurs d'automobiles. — **P. W. Selwood** : Applications de la magnétochimie aux polymères et à la polymérisation.

JOURNAL OF RESEARCH OF THE NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. — T. 41, n° 3, septembre 1948. — **D. Hubbard, G. F. Rynders** : L'épaisseur des films sur les électrodes de verre. — **H. F. Launer** : Papiers sensibles pour le contrôle de la solidité des couleurs des textiles et la stabilité des matériaux sous la lampe à arc. — **L. S. Wells, W. F. Clarke, E. M. Levin** : Caractéristiques du foisonnement des ciments hydratés et le développement d'un test à l'autoclave pour la solidité. — **S. L. Madorsky, P. Bradt, S. Strans** : Concentration des isotopes de mercure dans les distillations moléculaires à contre-courant. — **L. D. Hammond** : Détermination de lactose seul et en présence de sucrose par la méthode de Munson et Walker. — **H. O. Wyckoff, R. J. Kennedy, W. R. Bradford** : Atténuation des faisceaux de rayons X de 500 à 1.400 kilovolts dans le plomb et le béton. — **M. Swerdlow, G. S. Seeman** : Une méthode pour la microscopie électronique de la laine.

JOURNAL OF RESEARCH OF THE NATIONAL BUREAU. — T. 41, n° 4, octobre 1948. — **D. B. Judd** : La perception des couleurs chez les daltoniens. — **G. F. Rynders, O. H. Graner, D. Hubbard** : Fonction électrode (pH de réponse) des verres au silicate de soude. — **C. E. Weir** : Effet de la température sur le volume du cuir et du collagène. — **J. B. Saunders** : Déplacement d'image par la rotation d'un prisme à déviation constante en lumière divergente. — **F. H. Day** : Calibration de chambres aux rayons X mous. — **F. E. Washer** : Calibration et erreurs dans le nombre f des lentilles photographiques. — **L. A. Wall** : Etude au spectrographe de masse de la décomposition thermique des polymères. — **A. J. Streiff, J. C. Zimmerman, L. F. Soule, M. T. Butt, V. Sedlack, C. B. Willingham, F. D. Rossini** : Purification, pureté et points de congélation de 30 hydrocarbures des séries standards API et API-NBS.

JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE. — T. 246, n° 6, décembre 1948. — **W. M. Stanley** : Progrès récents dans les recherches sur les virus. — **T. von Karman** : Les progrès de l'aviation. — **Gwoh-Fan Djang** : Une méthode d'itération modifiée du type de Picard dans la solution des équations différentielles. — **R. P. Loveland, H. M. Menihan, A. P. H. Trivelli** : Analyse de la répartition de la dimension des particules des grains produisant l'image photographique. — **N. C. Gersoon et S. L. Seaton** : Théorie magnéto-ionique généralisée.

JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE. — T. 247, n° 1, janvier 1949. — **E. S. Paniagua** : La dette des inventeurs américains envers le Franklin Institute. — **I. M. Levitt** : Le problème des binaires à éclipses. — **R. C. Binder et G. G.**

Mize : Les vibrations de la chaîne dans une transmission. — **M. Z. Krzywoblocki** : Sur l'écoulement turbulent stationnaire bidimensionnel loin derrière un corps solide symétrique. - I. Théorie du transfert d'impulsion.

LA NATURE. — N° 3166, février 1949. — **H. V. Vallois** : Les lignes de la main. — **P. Basiaux-Defrance** : La renaissance du carillon. — **G. Champetier** : Silicates et silicones. — **R. Stumper** : L'illusion de l'altruisme chez les fourmis. — **L. Perruche** : La séparation des minerais en milieu dense. — Les ressources de l'Australie. — **M. Déribéré** : Le spectrographe de masse. - Les progrès de la zoologie. - Approximations géométriques.

PHILIPS RESEARCH REPORTS. — T. 3, n° 6, décembre 1948. — **J. A. Haringx** : Sur les ressorts hélicoïdaux et tiges de caoutchouc très compressibles et leur application aux montages sans vibrations. — **W. Elenbaas** : La dissipation de la chaleur par convection libre, II. — **C. Zwikker** : Anticaustiques. - Une construction de cordes et une formule générale.

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL INSTITUTE OF SCIENCES OF INDIA. T. XIII, 1947. — N° 1, janvier 1947 : **S. C. Sirkar et N. N. Saha** : Sur la structure de la cellulose hydratée obtenue à partir de la fibre de jute brute. — **G. J. Fowler** : Quelques nouvelles chaînes obtenues dans le cycle de l'azote. — **M. L. Roonwal** : Sur la stimulation des couleurs chez la sauterelle Schistocerca gregaria (Orphoptera, Acrididea), expériences avec des boîtes peintes. — **K. S. Singwi** : Sur la configuration à deux phases des petites masses stellaires. — **H. Gupta** : Une table des valeurs de N_3 (t).

N° 2, février 1947. — **P. D. Gupta** : Sur la copulation et l'insémination chez la Blatte Periplaneta Americana (Linn.). — **J. C. Ghosch, S. K. Bhattacharyya, R. Banerjee** : Etudes photochimiques sur les sols et gels. — **S. Chowla** : Un théorème de la théorie analytique des nombres. — **R. P. Bambah** : Sur les nombres pouvant être exprimés comme somme de deux carrés.

N° 3, mars 1947. — **K. H. Alikunhi** : Sur Pisione complexa N. sp. de Sandy Beach, Madras. — **M. K. Subramaniam** : Etudes sur la cytologie des levures II.

N° 4, avril-juin 1947. — **M. V. Sirur, M. S. Muthanna, S. K. Bhattacharyya, J. C. Ghosh** : Etudes sur les propriétés physico-chimiques des phthalocyanines. — **K. R. Karmarkar** : Sur les éléments linéaires stationnaires. — **M. L. Misra** : Sur la sommabilité de la série conjuguée d'une série de Fourier par des moyennes logarithmiques. — **S. Chowla** : Equations modulaires solutions des équations différentielles algébriques du sixième ordre. — **S. Chowla** : Sur les séries du type de Lambert qui prennent des valeurs irrationnelles pour des valeurs rationnelles de l'argument. — **R. P. Bambah et S. Chowla** : Sur le signe de la somme de Gauss. — **S. Chowla** : Sur un zéro réel inattendu de la fonction zêta d'Epstein. — **U. R. Barman** : Sur l'hélium dans les étoiles de grandes masses. — **R. C. Majumdar et S. N. Gupta** : Sur l'énergie propre des électrons. — **S. Chowla** : Sur le nombre de classe du corps P (V—k).

N° 5, juillet-septembre 1947. — **H. Gupta** : Une table des valeurs de T (n). — **I. Banerji** : Histoire de la vie de Typhonium trilobatum Schott. — **S. Chowla** : Sur un problème de la théorie analytique des nombres. — **S. Chowla** : Note sur une certaine somme arithmétique. — **P. L. Kapur** : La largeur des niveaux nucléaires. — **R. P. Bambah et S. Chowla** : Sur les racines entières de la matrice unité. — **M. Dutta** : Sur le traitement d'un gaz imparfait suivant le modèle de Fermi.

N° 6, octobre-décembre 1947. — **A. R. Ansari** : Mallophaga (Ischnocera) infestant les oiseaux au Punjab (India). — **R. P. Agarwal** : Sur quelques nouveaux noyaux et fonctions self-réciproques dans la transformation de Hankel. — **U. N. Singh** : Sur la sommabilité forte d'une série de Fourier et de sa série conjuguée. — **K. L. Khanna et K. R. Ramnathan** : Etudes sur l'association des caractères des plantes et son incidence sur les épidémies. — **D. N. Ganguly et S. Mookerjee** : Sur la structure et le développement des écailles cténoïdes chez certains poissons des Indes. — **N. N. Saha** : Sur l'acétylation de la cellulose dans la fibre de jute brute.

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. — 20 janvier 1949. — **G. Bouligand** : Libres vues sur la connaissance mathématique. — **Pr. Colmant** : L'énergétique de Jean-Nicolas Broensted. — **M. Garnier** : La propulsion aérienne — **A. Renier** : Robert de Limbourg (1731-1792), ancêtre des géologues belges. — **B. Fraeys de Veubeke** : Méthodes modernes de mesure des tensions.

REVUE TRIMESTRIELLE CANADIENNE. — N° 136, hiver 1948-49. — **H. Gaudefroy** : L'enseignement des sciences appliquées. — **M. Eyrolles** : Note sur la formation des ingénieurs en France. — **H. Mhun** : Regards sur la situation financière française. — **H. P. Spratt** : Le « Science Museum » de Londres. — **J. Galichon-Divry** : Impressions de Berlin. — **P. H. Casselman** : Safety and Health in Canadian Industry. — **A. Antoine** : Les Nations Unies et la Technique. — **E. Vassy** : Recherches françaises sur la lumière du ciel nocturne. — **R. Sudré** : La renaissance des colorants français.

SCIENCES. — N° 60, octobre-novembre-décembre 1948. — Congrès de Genève : Compte rendu sommaire des travaux des sections.

SCIENTIA. T. 84, 1949, T. II. — **G. T. Seaborg** : Les éléments transuraniens. — **C. N. Hinshelwood** : La cinétique chimique de la croissance des bactéries. — **F. Friant** : Les premiers oiseaux avaient-ils des ailes? — **F. Gabrieli** : Le legs de l'antiquité classique au moyen âge musulman. — **M. Niedermann** : L'interpénétration des langues (II). — **A. Natucci** : Qu'est-ce que l'existentialisme? — **E. Cerasoli** : Le système Giorgi et les réformes métrologiques.

SCIENZA E LAVORO. N° 5, mai 1948. — **Zammarchi A.** : De l'énergie nucléaire à l'électricité. — **Brusa A.** : Les déserts de la Terre. — **Archetti I.** : Comment se prépare un vaccin. — **Vialli G.** : Les animaux lumineux. - Le sous-marin C-3 Vanessa.

SCIENZA E LAVORO. N° 6, juin 1948. — **De Galiana T. A.** : Dans le domaine ultra-sonore. — **Anelli F.** : Le grave de Castellana. — **Topi M.** : La reconstitution du vignoble à l'épreuve du phylloxera. — **Bozzetti M.** : La fibre textile artificielle. — **Sappa F.** : La truffe.

SCIENZA E LAVORO. N° 7, juillet 1948. — **Caldara S.** : Architecture et fonctionnement d'un aéroport moderne. — **Zaina I.** : L'industrie du papier. - La société des végétaux. — **Janeselli P. R.** : Dimensions et rotation de la Voie lactée.

SCIENZA E LAVORO. N° 8, août 1948. — **Babudieri B.** : Le microscope électronique. — **Nava C.** : Le téléphone automatique. - La feuille, laboratoire chimique de la plante.

SCIENZA E LAVORO. N° 9, septembre 1948. — **Caldara S.** : La rééducation des mutilés. — **Pedante R.** : Le laboratoire d'essais des très hautes tensions. — **Laeng G.** : Le graphite et ses applications. — **Ghidini G. M.** : Le microfilm.

SCIENZA E LAVORO. — N° 1, janvier 1949. — **E. Luparelli** : L'industrie cinématographique de la prise de vues à la projection. — **E. Tortonese** : Les grandes chasses à travers les océans. — **O. Verona** : Le cycle du « Plasmodium vivax ».

LA TERRE ET LA VIE. N° 4, octobre-décembre 1948. — **J. Leandri** : Les tourbières et leur étude.